

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra pozemního stavitelství

Použití kompozitních materiálů při zesilování zděných konstrukcí
pozemních staveb

The using of composit materials by rehabilitation and strengthening of
masonry constructions

Student:

Bc. Roman Tietz

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jaroslav Solař, Ph.D.

Ostrava 2012

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Obsah

1. Úvod.....	5
2. Tradiční způsoby zesilování zděných konstrukcí.....	6
2. 1. Zděné konstrukce v současnosti	6
2. 2. Zesilování zděných konstrukcí	7
3. Kompozitní materiály ve stavitelství.....	10
3. 1. Historie a vývoj kompozitních materiálů	10
3. 2. Kompozitní materiály v moderním stavitelství	11
3. 3. Uhlíkové lamely, uhlíkové tyče, uhlíkové tkaniny	12
3. 4. Skleněná vlákna, skleněné tyče, skleněné lamely	15
3. 5. Aramidová vlákna, aramidové tyče	16
4. Využití kompozitních materiálů při zesilování zděných konstrukcí	17
4. 1. Aplikace kompozitních materiálů na konstrukce	19
4. 2. Aplikace uhlíkových lamel na stavbě rekonverze plynovému na multifunkční aulu v Ostravě - Vítkovicích.....	22
5. Využití normy ČSN EN 1998-3 při zesilování zděných konstrukcí	33
6. Srovnání technologie použití kompozitních materiálů s tradičními způsoby zesilování zděných konstrukcí pozemních staveb	35
7. Závěr.....	37
Příloha č. 1 - Ukázkový příklad posouzení konstrukce a návrhu zesílení kompozitním materiálem.....	38
Příloha č. 2 - Plán jakosti stavební technologie - použití kompozitních materiá- lů při zesilování zděných konstrukcí.....	57
Příloha č. 3 - Technický list MBrace® S & P CFK lamely	65
Příloha č. 4 - Ukázky z realizací.....	69
Příloha č. 5 - Ukázky zkoušek kompozitních materiálů.....	73
Literatura	75

1. Úvod

Problematika zesilování zděných konstrukcí je v současnosti velmi aktuální téma, neboť se hojně rekonstruují nebo opravují historické objekty z poloviny 20. století. Výjimkou však nejsou i zděné domy, které byly postaveny nedávno. U těchto domů se jedná především o zesílení zděných konstrukcí z důvodů nových zatížení konstrukce, např. přístavení nového podlaží, změna užívání daného objektu, změna počtu osob, které objekt užívají apod. S vývojem nových technologií ve stavebnictví se dostává do popředí zájmu zesilování konstrukcí pomocí kompozitních materiálů, které navzdory svým rozměrům mají několikanásobně větší únosnost než v současnosti používané technologie.

Kompozitní materiály se využívají zejména u historických objektů, u kterých je nutné zachovat jejich původní vzhled s co nejmenšími zásahy do objektu, ale také u objektů, kde není možné realizovat tradiční způsoby zesilování konstrukcí.

Cílem mé diplomové práce s názvem „Použití kompozitních materiálů při zesilování zděných konstrukcí pozemních staveb“ je představit nejen v současnosti používané technologie při zesilování zděných konstrukcí, ale také použití kompozitních materiálů, jako způsob nově používané technologie při zesilování zděných konstrukcí.

2. Tradiční způsoby zesilování zděných konstrukcí

2. 1. Zděné konstrukce v současnosti

Zděné budovy občanského a kulturního významu, které v současnosti rekonstruuje nebo opravujeme, pochází z dob od druhé poloviny 19. století až po konec 20. století. Problematika rekonstrukcí a oprav historických zděných budov je poměrně rozsáhlá, a proto pro danou problematiku využíváme bohaté informační zdroje, kterými jsou především tehdejší stavební zákony, předpisy a normy. Odborné znalosti výše uvedených informačních zdrojů nám umožňují citlivý přístup při rekonstrukcích historických objektů.

Z tehdejších zákonů lze vyčíst, že i v té době byly stavební zákony poměrně podrobné, což dokládá charakteristika zděných domů, které v tehdejší době byly většinou složeny z 2-5 nadzemních podlaží, u kterých je charakteristickým znakem podélné uspořádání nosných zdí tloušťky 600 - 900 mm. Na přelomu 19. a 20. století se začaly používat cihly tzv. klasického formátu 290 x 100 x 65 mm.

Stropní konstrukce byly tvořeny převážně cihelnými klenbami, které byly uloženy na zdivu. V průběhu 20. století se cihelné klenby vyvinuly postupně do plochých kleneb, betonových, dřevěných nebo také keramických stropů.

Každá zděná konstrukce podléhá postupem času různým degradačním procesům, a proto téma zesilování zděných konstrukcí, jako jedna z technologií oprav, je v současnosti velmi aktuální.

Před samotnou rekonstrukcí je velmi důležité provést stavebně technický průzkum budovy, který se skládá z několika částí - předběžný, podrobný a doplňkový. Stavebně technický průzkum je součástí diagnostiky zděné konstrukce. Pomocí diagnostiky zděné konstrukce volíme následně správnou technologii rekonstrukce, postup rekonstrukce, druh zkoušek zděných konstrukcí apod. Diagnostiku provádí odborníci s potřebnými znalostmi, kteří jsou schopni určit konkrétní typy poruch zděných konstrukcí.

2. 2. Zesilování zděných konstrukcí

Jak již bylo výše uvedeno, jednou z možností rekonstrukce zděné konstrukce, je volba zesílení dané konstrukce.

V současnosti lze provádět zesílení zděné konstrukce několika způsoby:

- zesílením zděného prvku přizděním
- zesílením zděného prvku obetonováním
- zesílením zděného prvku vyztuženou omítkou
- zesílením třmínky dodatečně vloženými do každé druhé příp. každé třetí ložné spáry
- zesílením zděného prvku ocelovým obandážováním
- zesílením pomocí kompozitních materiálů

Prvních pět způsobů zesilování zděných konstrukcí lze zařadit mezi tradiční technologie. Zesílení pomocí kompozitních materiálů lze zařadit mezi nové technologie, které jsou v současnosti v neustálém vývoji.

Pro přehlednost a porovnání je dobré si uvést základní informace o tradičních způsobech zesilování zděných konstrukcí, které jsou uvedeny na následující stránce v tabulce č. 1.

Způsob zesílení zděné konstrukce	Popis technologie	Výhody	Nevýhody
Zesílení zděného prvku přizdřením	<ul style="list-style-type: none"> - použití v případech zvětšení průřezové plochy zděného prvku - použití kvalitních pálených cihel - provázání se stávajícím zdívem pomocí kapes - před provedením nutné očistit stávající zdivo, odstranit omítku, vyčistit spáry do hloubky 20 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - zvětšení průřezové plochy zdiva, zvýšení únosnosti zdiva 	<ul style="list-style-type: none"> - náročnost na správné provedení
Zesílení zděného prvku obetonováním	<ul style="list-style-type: none"> - použití betonu nejméně třídy C16/20, dle návrhu až C20/25 - použití výztuže se svislými pruty a vodorovnými třmínky - tloušťka betonu 60 - 120 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - významné zesílení zděného prvku 	<ul style="list-style-type: none"> - technologie závislá na správnosti provedení a na statickém výpočtu
Zesílení zděného prvku vyztuženou omítkou	<ul style="list-style-type: none"> - použití hustě svařovaných sítí Ø 4 - Ø 10 mm - příčné profily, Ø 6 - Ø 12 mm - podélné a svislé profily - použití kvalitní cementové malty nebo jemnozrnného betonu 	<ul style="list-style-type: none"> - při použití torkretovaných vrstev dosažení vysokých pevností, snížení smršťování 	<ul style="list-style-type: none"> - nutnost správného provedení a kotvení výztuže
Zesílení třmínky	<ul style="list-style-type: none"> - odstranění malty v ložných spárách do hloubky 25 - 35 mm - do čerstvé malty o pevnosti min. 2,5 MPa vložení třmínků a zapravení maltou 	<ul style="list-style-type: none"> - na konstrukci není viditelná použitá technologie 	<ul style="list-style-type: none"> - nutnost správného provedení
Zesílení zděného prvku ocelovým bandážováním	<ul style="list-style-type: none"> - použití svislých uhlíků na rozích zděného prvku - ke spřažení ocel. konstrukce se zděným prvkem přispívá předepnutí spojovací páskové oceli předežhátím na 400 °C - 700 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - zachování půdorysných rozměrů 	<ul style="list-style-type: none"> - technologie závislá na správnosti provedení a na statickém výpočtu

Tabulka č. 1 - Přehled tradičních způsobů zesilování zděných konstrukcí

Z výše uvedené tabulky je patrné, že volba správné technologie zesílení zděné konstrukce



má významný vliv na její budoucí využití a trvanlivost. Pokud chceme předejít významnému a nevratnému poškození konstrukce, měli bychom již od prvních náznaků porušení zděné konstrukce věnovat takovému porušení zvýšenou pozornost, jelikož včasné rozpoznání a podchycení problému nám ušetří nemalé finanční náklady, ale také čas, který je spojen s dalším

Obr. č. 1 - Významné porušení zděné konstrukce [1] významným faktorem a to bezpečností celého objektu.

Stane-li se, že podceníme první náznaky jakéhokoli porušení zděné konstrukce, může v nejhorším případě dojít až k samotnému zřícení konstrukce.

Problematikou zesilování zděných konstrukcí se v současnosti zabývá mnoho odborníků a výzkumných ústavů, jejichž výsledky se úspěšně přenášejí do praxe a to nejen v podobě používání tradičních technologií zesilování zděných konstrukcí, ale také v podobě využití moderních způsobů zesilování jakými je užití kompozitních materiálů, tzn. použití uhlíkových, skleněných, aramidových vláken, kterým se budeme věnovat v následujících kapitolách.

3. Kompozitní materiály ve stavitelství

3. 1. Historie a vývoj kompozitních materiálů

Při pohledu do historie lze zjistit, že myšlenka kompozitních materiálů jako taková se objevuje již ve starověkém Egyptě, kdy staří Egypťané používali tzv. kompozitní cihly. Tyto cihly se skládaly ze směsi jílu a slámy. Kompozitní materiály se v průběhu doby postupně vyvíjely. K rozmachu použití kompozitních materiálů dochází od 40. let 20. století, kdy v roce 1949 byly provedeny v Anglii první pokusy zesílení konstrukcí pomocí lamel. Počátky použití kompozitních materiálů v České republice se datují do 80. let 20. století. V této době se používala pásková ocel, která byla lepena speciálním epoxidovým lepidlem. Nevýhodou páskových ocelí je jejich malá odolnost vůči korozi, větší hmotnost a v neposlední řadě také použití podpěrné konstrukce při instalaci těchto lamel. Během 90. let 20. století se výrazně rozvíjí technologie použití materiálů, které jsou na bázi uhlíkových, skleněných a aramidových vláken. V současnosti se vývoj kompozitních materiálů v moderním stavitelství zaměřuje nejen na použití při rekonstrukcích stávajících historických objektů za minimálních zásahů do těchto objektů, ale také na zesílení zděných a jiných konstrukcí ať už z důvodů většího zatížení konstrukce nebo změny jejího užívání. Jejich aplikace může mít více podob např. rovné, tvarované lamely, speciální textilie ve formě pásů apod.

V České republice se zabývá vývojem kompozitních materiálů a jejich aplikací do praxe např. Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s. sídlící v Brně, nebo také oddělení kompozitních materiálů Ústavu struktury a mechaniky hornin AV ČR.

Velmi důležitým faktorem při vývoji kompozitních materiálů je úzká spolupráce s realizačními firmami, které využívají kompozitní materiály v praxi. Zpětná vazba od těchto firem umožňuje zdokonalování kompozitních materiálů a jejich další rozvoj ve stavebnictví.

3. 2. Kompozitní materiály v moderním stavitelství

Jak již bylo uvedeno výše, významný rozvoj kompozitních materiálů v moderním stavitelství jsme zaznamenali v 90. letech 20. století. V současnosti lze téma kompozitních



Obr. č. 2 - Ukázka kompozitní výmztuže [2]

materiálů a jejich užití ve stavebnictví rozdělit nejen dle materiálů, ze kterých jsou vyrobeny (uhlíková, skleněná, aramidová vlákna), ale také podle jednotlivých prvků např. externě lepená syntetická výmztuž, tyče, atd. Co se týče použitelnosti ve stavebnictví a parametrů jednotlivých materiálů, jsou nejlépe využitelná uhlíková vlákna, resp. výrobky z těchto vláken,

jakými jsou lamely, tyče a tkaniny. Mezi největší

výhody kompozitních materiálů patří jejich nízká hmotnost vzhledem k jejich únosnosti, snadná manipulace, vysoká pevnost, porovnáme-li je s jejich vlastní hmotností, odolnost vůči korozi a proti poškození.

Jako každý materiál, i kompozitní materiály mají své nevýhody. Mezi hlavní nevýhody patří především malá odolnost vůči UV záření, vysoké finanční náklady a např. u skleněných vláken jejich nízký modul pružnosti. Oblast využití kompozitních materiálů ve stavebnictví je poměrně široká, jmenujme např. použití při zesilování zděných, ale také betonových konstrukcí, oprava konstrukčních nedostatků a poruch, zvětšení únosností jednotlivých konstrukcí, u tkanin pak také obalování sloupů pro zvýšení jejich stability a únosností.

3. 3. Uhlíkové lamely, uhlíkové tyče, uhlíkové tkaniny

Nejčastěji používanými kompozitními materiály ve stavebnictví jsou materiály, které jsou vyrobeny z uhlíkových vláken. Uhlíková vlákna se používají především díky vysokému modulu pružnosti v tahu, který se pohybuje od 165 GPa do 200 GPa. Mezi tyto materiály řadíme uhlíkové lamely, uhlíkové tyče a uhlíkové tkaniny.

Uhlíkové lamely se nejčastěji využívají při zvýšeném zatížení konstrukce, které může být zapříčiněno zvětšením užitého zatížení, zabudováním těžkých technologických zařízení apod. Dále se mohou také využívat při poškození nosných prvků konstrukce, pro zlepšení užitečných vlastností konstrukce, při změně statického systému.

Uhlíková lamela se vyrábí zaválcováním uhlíkových vláken do nosné složky, které je složena z epoxido-živičné matrice. Následuje vytvrzení lamely v peci při vysoké teplotě. Díky tomuto spojení vzniká kompozitní materiál, který má velmi dobré pevnostní charakteristiky.

Velkou výhodou uhlíkové lamely je její tloušťka a šířka. Tloušťka uhlíkové lamely se pohybuje v rozmezí od 1,2 mm do 1,4 mm a šířka v rozmezí kolem 50 mm. Samotné rozměry uhlíkové lamely vždy závisí na konkrétním požadavku investora a dané konstrukce, pro kterou je určena. V závislosti na konkrétních požadavcích se může šířka pohybovat v rozmezí až do 150 mm, která je odstupňována po 10 - 20 mm.

Mezi další nesporné výhody uhlíkové lamely patří její hmotnost vzhledem k únosnosti. Malá hmotnost se v praxi projeví snadnější manipulací s tímto materiálem a v neposlední řadě nám odpadnou těžké mechanismy při samotné aplikaci uhlíkové lamely, neboť na rozdíl od tradičních způsobů zesilování, např. stropních konstrukcí a překladů, kdy je nutné konstrukci podstojkovat, aby došlo k jejímu odlehčení, u uhlíkových lamel nemusíme problém odlehčení řešit.

Obecně lze shrnout výhody uhlíkových lamel do několika následujících bodů:

- nízká hmotnost vzhledem k únosnosti uhlíkové lamely
- manipulace a doprava materiálu
- časová úspora při technologii provádění v porovnání s tradičními způsoby zesilování konstrukcí
- nízká objemová hmotnost (1650 kg/m^3)

Nevýhodou uhlíkových lamel je jejich malá odolnost vůči UV záření a cena uhlíkové lamely (pro srovnání 1 m uhlíkové lamely je 6 x dražší než 1 m ocelové příločky). Uhlíkové lamely jsou zároveň velmi křehké, proto manipulace musí být prováděna velmi opatrně. Porovnáme-li si tradiční způsoby zesilování, můžeme dojít k jednoznačnému závěru, že aplikace uhlíkových lamel je poměrně finančně náročná. Je nutné si ale uvědomit, že počáteční finanční náklady se nám vrátí zpět v podobě času, který pracovníci ušetří při samotné aplikaci uhlíkové lamely. Při aplikaci je nutné dodržovat správný technologický postup, který bude uveden a rozebrán v dalších kapitolách.

Další z kompozitních materiálů, který se vyrábí z uhlíkových vláken, jsou uhlíkové tyče.



Obr. č. 3 - Ukázka uhlíkové tyče [3]

Uhlíkové tyče se převážně používají k zesilování konstrukcí pomocí vlepování tyčových profilů do drážek, vyfrézovaných před aplikací tyčí do konstrukce. Výhodou aplikace tyčové kompozitní výztuže do drážek je z hlediska budoucího užívání objektu, na kterém byla aplikace provedena, neviditelnost tohoto zásahu, neboť tyčové profily po vlepění drážek jsou překryty omítkou.

Využití nacházejí uhlíkové kompozitní tyče ve zděných konstrukcích, u kterých chceme zvýšit vodorovnou únosnost proti působení větru, účinkům přírodní či technické seizmicity v dané oblasti, apod. Pro dosažení lepších pevnostních charakteristik lze uhlíkové kompozitní tyče, podobně jako uhlíkové lamely, předpínat. V rámci aplikací uhlíkových kompozitních tyčí lze nalézt určité nevýhody, které se musí zohlednit před samotným návrhem zesílení konstrukce. Jedná se o ohýbání tyčí. Tyče nemohou být ohýbány na stavbě, ale musí být přesně naohýbané již ve výrobě. Uhlíkové kompozitní tyče nacházejí uplatnění především u historických objektů, kde památkáři dbají na to, aby si budova zachovala svůj původní ráz. Stejně jako u uhlíkových lamel je nevýhodou finanční náročnost při použití této kompozitní výztuže.

Posledním kompozitním materiálem, který se vyrábí z uhlíkových vláken, jsou uhlíkové tkaniny. Oproti lamelám se dodávají z výroby v rolích a to buď jako jednosměrné nebo obousměrné. Na rozdíl od předchozích způsobů zesilování pomocí uhlíkových lamel a uhlíkových tyčí se tkaniny používají na konstrukce, kde chceme zabránit smykovým a smršťovacím trhlinám. Pro tento způsob sanace se využívají především obousměrné

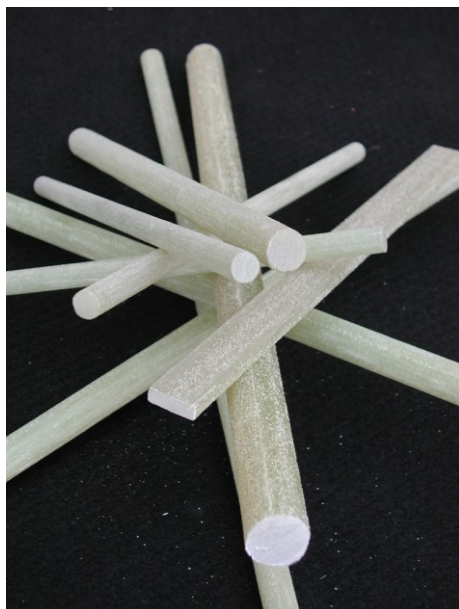


Obr. č. 4 - Aplikace tkaniny při zesílení klenby [4]

tkaniny. Můžeme je také použít na bandážování sloupů, nosníků nebo také na zesílení kleneb a stropních konstrukcí. Postupem času se v praxi velmi osvědčilo použití při bandážování sloupů jako efektivní a účinný způsob odolnosti proti nárazu a zvýšení únosnosti. Z hlediska aplikace je nutné rozlišit tzv. suchou metodu a tzv. mokrou metodu. Suchá metoda se liší od mokré metody tím, že tkaninou se nechá prosáknout pryskyřice a poté se tkanina přetře válečkem. Naproti tomu u mokré metody se tkanina nejprve namočí do pryskyřice a poté se nanáší na daný podklad. Již na první pohled je zřejmé, že aplikace mokrou metodou bude náročnější nejen na pečlivost pracovníků, ale také na tom, aby po namočení do pryskyřice nepřišla tkanina do styku s jakoukoli nečistotou. Samotná tkanina by se neměla překrývat omítkou, aby v budoucnu nedošlo k porušení tkaniny v důsledku provádění např. rozvodů elektřiny. Na překrytí tkaniny je nejlepší použít speciální barvu k tomu určenou. Porovnáme-li na závěr všechny tři druhy kompozitních materiálů vyrobených z uhlíkových vláken, lze konstatovat, že každý typ kompozitního materiálu je určen pro jinou aplikaci, stejně tak i vlastnosti jednotlivých kompozitních materiálů z uhlíkových vláken se mohou lišit. Společnými vlastnostmi všech uhlíkových kompozitních materiálů jsou vysoké finanční náklady a pečlivost při technologii provádění.

3. 4. Skleněná vlákna, skleněné tyče, skleněné lamely

Jedním z dalších materiálů, které se používají pro výrobu kompozitních materiálů, jsou skleněná vlákna. Tento typ kompozitního materiálu se ve stavebnictví využívá méně



Obr. č. 5 - Skleněné tyče a lamely [5]

než uhlíková vlákna. Charakteristickým znakem skleněných vláken je modul pružnosti pohybující se okolo 60 GPa. Skleněná vlákna se používají především pro vyztužování anorganických materiálů, jakými jsou betony, malty a sklocementové výrobky. V neposlední řadě se používají také pro vyztužování sádky a v určitých případech i pro vyztužení keramiky. Skleněná vlákna se v minulosti vyráběla dvoustupňovou technologií, kdy se nejprve ze sklářského kmenu tavením při teplotě 1550 °C vytvořily kuličky průměru 10-20 mm a následně se tavily v platinových kelímcích. V současnosti se využívá tzv. kontinuální technologie, u které se na jednom konci pece sází sklářský kmen a roztavená sklovina o teplotě přibližně 1560 °C proteče přes platiniridiové destičky. Na druhém konci poté dochází k vytahování vláken. Nevýhodou takto vytaženého pramence vláken je jejich lámavost a abrazivnost, díky čemuž může dojít ke ztrátě pevnosti. Z těchto důvodů je skleněné vlákno, než je vytaženo, opatřeno lubrikací. Nejčastějšími výrobky ze skleněných vláken, které využíváme ve stavebnictví, jsou skleněné tyče a skleněné lamely. Vlastností skleněných kompozitních materiálů využíváme při zvyšování pevnosti konstrukcí, které jsou namáhané seismickým tlakem, příp. zatížením, které se vyskytuje pouze krátkodobě. Nedoporučuje se používat skleněné kompozitní materiály v konstrukcích, kde dochází trvalé namáhání smykem nebo ohybem.

3. 5. Aramidová vlákna, aramidové tyče

Posledním typem kompozitních materiálů, které lze využít ve stavebnictví, jsou kompozitní výrobky z aramidových vláken. Aramidové tyče jsou nejčastějším typem kompozitního výrobku z aramidových vláken. Modul pružnosti aramidových kompozitních tyčí se pohybuje okolo 100 GPa. Provedeme-li přímé srovnání se skleněnými tyčemi, lze zjistit, že aramidové



Obr. č. 6 - Aramidové tyče [6]

tyče mají modul pružnosti vyšší přibližně o 40 GPa a jsou tedy druhou nejlepší volbou po uhlíkových kompozitních materiálech. Vlastnosti aramidových vláken se hojně využívá při aplikacích na objektech, kterou jsou v blízkosti moří, jelikož aramidová vlákna dobře odolávají působení alkalických solí. Mezi další výhody aramidových vláken patří jejich odolnost vůči

vysokým teplotám a také odolnost proti působení chemikálií. Mezi hlavní nevýhody patří nízká odolnost proti UV záření, vlhkosti a také obtížná barvitelnost výrobků z aramidových vláken. Z výše uvedených kapitol lze říci, že každý kompozitní materiál, který využíváme ve stavebnictví má své specifické vlastnosti, a může být použit pouze na dané typy konstrukce. Vzhledem k tomu, že kompozitní výrobky z uhlíkových vláken jsou nejčastěji používané ve stavebnictví, budeme se v následujících kapitolách zabývat technologií provádění především při zesilování zděných konstrukcí.

4. Využití kompozitních materiálů při zesilování zděných konstrukcí

Z výše uvedených obecných informací o kompozitních materiálech lze usoudit, že nejvíce rozšířené pro potřeby stavebnictví jsou kompozitní materiály na bázi uhlíkových a skleněných vláken. V současnosti nacházejí uplatnění v mnoha oborech stavebnictví, např. v pozemním stavitelství, v dopravním stavitelství, apod.

V následujících kapitolách se budeme zabývat kompozitními materiály, které se používají v pozemním stavitelství, zejména v případech zesilování zděných konstrukcí.

Kompozitní materiály lze použít při zesílení zděných konstrukcí z následujících důvodů:

- 1) zvýšení zatížení
- 2) poškození nosných prvků
- 3) změna statického systému
- 4) chyby při projektování nebo provádění

Jak je z uvedeného rozdělení patrné, kompozitní materiály nacházejí své uplatnění při zesilování zděných konstrukcí zejména v aplikacích do nosného systému konstrukce.

Ad 1) Zvýšení zatížení je při zesilování konstrukcí jedním z nejčastějších důvodů, zejména v případech, kdy stávající objekt je vystaven pohybu většího počtu osob, než na který byl v minulosti navržen, nebo také v objektech, kde dochází k používání těžších strojních zařízení. U průmyslových objektů dochází zejména k zesilování stropních konstrukcí.

Ad 2) V dnešní době v důsledku zvýšené agresivity prostředí dochází k rychlejší degradaci stavebních konstrukcí. Tyto degradace lze na konstrukcích spatřit v podobě obnažené výztuže, která takto koroduje a přestává plnit svou statickou funkci. V důsledku této poruchy stavební konstrukce ztrácí svou únosnost, což v některých případech může přímo ohrožovat lidský život. Nezřídka se stane, že konstrukce je vystavena účinkům požárů, nárazu vozidla, apod.

Ad 3) Změnu statického systému prostoru stavebního objektu provádíme v případech, kdy chceme vytvořit nové volné obchodní nebo skladovací prostory. V těchto případech je nutné zasáhnout do konstrukčního systému budovy, tzn. vybourat nosné zdivo, vyřezat nové otvory ve stropních konstrukcích apod. V případě těchto zásahů je nutné konstrukci řádně zesílit.

Ad 4) Při projektování a statických výpočtech může dojít k chybám, které vedou např. k poddimenzování průřezů nosných prvků, malému množství navržené výztuže. Tyto chyby mohou způsobit, že daná konstrukce nepřenese požadované zatížení, pro které byla navržena.

V současnosti se provádí zesilování zděných konstrukcí pomocí kompozitních materiálů nejčastěji v prvních dvou uvedených případech.

4. 1. Aplikace kompozitních materiálů na konstrukce

Samotná aplikace kompozitních materiálů na konstrukci musí být provedena vyškolenými pracovníky pečlivě nejen s ohledem na stav konstrukce, ale také s ohledem na technologii provádění.

Samotnou technologii aplikace kompozitních materiálů lze shrnout do několika následujících bodů. Obecný postup technologie provádění si ukážeme na zesílení stropní konstrukce pomocí uhlíkových lamel MBrace[®] společnosti BASF.

1) Příprava povrchu

Povrch, na který budeme aplikovat uhlíkovou lamelu, musí být dobře očištěn, zbavený všech



nečistot, oleje, příp. mastnoty. Porušená část povrchu musí být mechanicky odstraněna. Pokud je povrch hladký je nutné jej zdrsnit buď to frézováním, nebo pískováním. Obecně se požaduje odtrhová pevnost podkladu $1,5 \text{ N/mm}^2$.

Obr. č. 7 - Příprava povrchu před aplikací [7]

2) Nerovnost, vyspravení podkladu

Nerovnost podkladu se měří 2 m latí a nesmí přesáhnout 5 mm. Pokud jsou hodnoty vyšší, vysprávi se lokálně epoxidovým lepidlem MBrace[®] Epoxikleber 220. Vyspravení nerovného podkladu se musí provést minimálně 24 hod. před aplikací uhlíkových lamel. Pokud je rozsah vysprávek dané konstrukce větší, používá se speciální vyrovnávací malta na cementové bázi s označením Emaco S 88C. Důležité je také kontrolovat vlhkost podkladu, která by neměla překročit 4%.

3) Teplota při provádění

Před zahájením prací musí být stanovena teplota podkladu, relativní vlhkost a také teplota okolí. Pokud je teplota podkladu menší než 3°C je nutné jej ohřát. Během samotné aplikace uhlíkových lamel by neměla teplota klesnout pod 8°C a být vyšší než 35°C . Pokud při aplikaci jsou trvale nižší teploty, je nutné použít speciální lepidlo pro nízké teploty, které lze aplikovat až do -10°C .

4) Lepení

Lepení uhlíkové lamely se skládá z několika kroků. Nejprve musí být lamela nařezána na požadované rozměry konstrukce, na kterou bude aplikována a také řádně očištěna. Následně se provádí nanášení epoxidového lepidla MBrace® Epoxikleber 220, které se nanáší na uhlíkovou lamelu v tloušťce 2 mm. Vrstva epoxidového lepidla v této tloušťce zabezpečí protažení lamely korýtkem se zarážkou (*obr. č. 8*). Minimální tloušťka lepidla je 1 mm, maximální 3 mm. Po aplikaci uhlíkové lamely na danou konstrukci (*obr. č. 9*) se provede přitlačení speciálním válečkem. Vzhledem k tomu, že epoxidová lepidla mají menší požární odolnost v rozsahu 60°C - 80°C a poté může dojít i k předčasnému selhání uhlíkových lamel, je nutné uhlíkové lamely chránit dodatečnými protipožárními opatřeními. Jako protipožární opatření se ve velké míře používají protipožární desky.

Uhlíkové lamely se na stavenišťe dovážejí v rolích a mohou se skladovat v suchu po neomezenou dobu, je však nutné je chránit před slunečním zářením. Přehled jednotlivých činností prováděných při zesilování konstrukce pomocí S&P CFK lamel je uveden na následující straně v tabulce č. 2.



Obr. č. 8 - Protažení lamely korýtkem [8]



Obr. č. 9 - Instalace uhlíkové lamely [9]

Poz.	Text	Jednotka
1	Instalace, příprava Dovoz, odvoz a používání potřebných přístrojů a materiálů pro zesílení nosné konstrukce. Návštěvy staveniště	Paušál Ks
2	Lešení Montáž a používání stavebního lešení s nutnou ochranou proti prachu	Paušál
3	Příprava podkladu Odstranění horní cementové vrstvy opískováním, vč. následného čištění kartáčem, příp. průmyslovým vysavačem Teoretická plocha pro lepení + 20% přesah: šířka lamely 50 mm šířka lamely 80 mm šířka lamely 100 mm šířka lamely 120 mm	m m m m
4	Vyrovnání podkladu Obroušení lokálních nerovností nebo reprofilace dutin a nerovností v oblasti nalepované výztuže. Náklady na provedení podle náročnosti osoby vyrovnávací malta	h kg
5	S&P CFK lamely Dodávka a nalepení S&P CFK lamel lepidlem MBrace podle prováděcích pokynů: Modul pružnosti CFK lamel: >200 000 N/mm ² pevnost v tahu při protažení: >1 600 - 1 700 N/mm ² protahování lamely na mez pevnosti: <1,2% Typ lamely: tahová síla na lamelu při protažení 0,8 % 50mm/1,4 mm 112x10 ³ N 80mm/1,4 mm 179x10 ³ N 100mm/1,4 mm 224x10 ³ N 120mm/1,4 mm 269x10 ³ N	m m m m
6	Referenční vzorky Dodávka a nalepení referenčních kusů S&P CFK lamel pro pozdější zkoušky přídržnosti	ks
6.1	Zkouška přídržnost (odtrhová pevnost) Zkouška přídržnost S&P CFK lamel na nosném podkladu pomocí zkušebního vrtu Ø 50 mm	ks
6.2	Odložení vzorků lepidla Během lepení se denně zhotoví 2 vzorky epoxidového lepidla (hranoly 40/40/160mm) pro pozdější kontrolu jakosti.	ks

Tabulka č. 2 - Přehled jednotlivých činností při zesílení v tahu za ohybu pomocí CFK lamel

4. 2. Aplikace uhlíkových lamel na stavbě rekonverze plynojemu na multifunkční aulu v Ostravě - Vítkovicích

Kompozitní materiály mají velké množství výhod, které byly popsány v předchozích kapitolách. Uhlíkové lamely, jako konkrétní druh kompozitních materiálu, se používají především v těchto případech:

- při zesilování dlouhých stavebních dílců (nosníky, mosty)
- při esteticky náročných způsobech zesilování (snadné ukrytí pod omítku nebo nátěr)
- v případech, kde není možno snižovat světlou výšku konstrukce
- v případech, kdy dochází ke křížení lamel (křížem vyztužené desky)
- při změně statického systému (dodatečné zřízení otvorů, vybourání stěn a podpěr)
- ve stísněných prostorech se špatnou přístupností
- při zesilování stropních konstrukcí se zavěšenou technologií (podhledy s instalacemi)
- při zvýšení zatížení nebo instalaci zařízení, které dynamicky namáhá konstrukci
- při obnovení původních parametrů při korozi stávající výztuže
- při velkých nárocích na rychlost provedení
- při nemožnosti zřídit podpěrné konstrukce

Než si ukážeme konkrétní případ aplikace uhlíkových lamel, je dobré si zmínit obecné charakteristiky uhlíkových lamel. Uhlíková lamela je kombinací velkého množství tenkých uhlíkových vláken a matrice z epoxidové pryskyřice. Tyto lamely jsou na konstrukci lepeny pomocí speciálního lepidla, které je na bázi epoxidových pryskyřic. Zajímavostí uhlíkových lamel je, že ve směru vláken vykazují velmi vysokou pevnost a tuhost i vynikající únavové vlastnosti při velmi malé objemové hmotnosti. Lamely jsou konstruovány jednosměrně, tj. všechna vlákna jsou uložena podélně ve směru namáhání. Pevnost napříč ke směru vláken a pevnost ve smyku jsou nízké. Mechanické vlastnosti v podélném směru jsou určeny typem a objemem vláken a celé lamely. V současnosti rozlišujeme u všech výrobců působících na českém trhu 3 základní druhy, které se liší mezi sebou modulem pružnosti. Dalším faktorem, který určuje druh lamely je šíře a tloušťka, která se pohybuje od 20 mm do 150 mm, tloušťka pak v rozmezí 1,2 a 1,4 mm.

Bližší specifikace jednotlivých lamel jsou vždy součástí prováděcího projektu.

4. 2. 1. Technologický a prováděcí předpis na stavbě rekonverze plynojemu v Ostravě - Vítkovicích

Následující technologický předpis řeší zesílení konstrukce plynojemu na stavbě rekonverze plynojemu v Ostravě - Vítkovicích.

Hlavní použité materiály byly tyto:

- **lamela CFK** - lisovaná kombinace velkého množství tenkých uhlíkových vláken a matrice z epoxidové pryskyřice BASF MBrace® S&P 150/2000 typ 50/1,2 a 80/1,2mm
- **lepidlo** - 2-komponentní systémová lepicí směs na bázi epoxidových pryskyřic, bez rozpouštědel pro silové spojení – BASF MBrace® Epoxikleber 22
- **EP malta** - 3-komponentní malta na bázi epoxidových pryskyřic, bez rozpouštědel, thixotropní, pro vysprávkou nerovného povrchu
- **toluen** - speciální čisticí na lamely

Na závěr stavby musí zhotovitel předat objednateli certifikáty a technické listy použitých materiálů včetně certifikace výrobců.

Aplikace uhlíkových lamel probíhala v několika následujících krocích a to příprava lamely, příprava podkladu, příprava a nanesení lepidla, nalepení lamely, dokončovací práce. Je nutné si uvědomit, že aplikaci mohou provádět pouze odborně vyškolení pracovníci realizační firmy.

a) Příprava lamely

Lamela je dodávána ve formě nekonečného pásu v rolích o průměru cca. 1 m v délkách 100 až 250 m. Pro dělení na požadované délky je třeba roli zajistit proti „rozmotání“ pomocí svěrek. Vlastní dělení lamely se provádí snadno, ručním řezáním pilkou na železo, nebo úhlovou bruskou. Lamelu je třeba pomocí přípravku fixovat tak, aby nedocházelo k třepení konců. Stykovou plochu nařezané lamely je třeba dále očistit od uhlíkového prachu speciálním čisticím a čistými bílými hadříky. Čištění probíhá tak dlouho, dokud hadřík nezůstane bílý. Takto očištěná lamela je již připravena k nanesení lepidla.

b) Příprava podkladu

Povrch konstrukce pro přilepení lamely musí splňovat řadu kvalitativních parametrů, zejména odtrhovou pevnost, která činí min 1,5 N/mm². Tato odtrhová pevnost se prokazuje vždy provedením několika odtrhových zkoušek. Teplota podkladu musí být min. 3°C a samotná aplikace může být provedena v teplotách v rozmezí od 8°C do 35°C. Vlhkost musí být max. 4%, rovinatost podkladu max. 5 mm při měření na 2 m lati a absolutní bezprašnost. Absolutní bezprašností dosáhneme přípravou povrchu v následujících krocích:

- vytýčení os jednotlivých lamel na konstrukci
- provedení odtahových zkoušek podkladu
- zbroušení povrchu (nerovností) pískováním nebo bruskou s odsáváním prachových částic.
- reprofilace nerovností sanačním materiálem EP maltou, který splňuje požadavek na odtrhovou pevnost min 1,5 N/mm². Nerovnosti do 8 mm se vyplňují přímo lepidlem na lamely.
- konečné odstranění prachových částic z podkladu pomocí průmyslového vysavače.

c) Příprava a nanesení lepidla

Rozvážení dvousložkového lepidla na lamely se provádí na přesných digitálních vahách s ohledem na zpracovávané množství. Doba zpracování lepidla je značně závislá na okolní teplotě a pohybuje se okolo 30 minut. Vlastní promíchání lepidla se provádí míchadlem při pomalých otáčkách. Lepidlo se poté nanáší nejen na zpevňovaný prvek, ale pomocí přípravku i na vlastní lamelu.

Přípravek umožňuje nanesení lepidla na lamelu tak, že vrstva lepidla uprostřed lamely je o cca. 1,5 mm vyšší než na okrajích.

d) Nalepení lamely

Nalepení lamely se provede prostým přitisknutím na lepené místo a dotlačením tvrdým gumovým válečkem od středu lamely k okrajům tak, aby byl spolehlivě odstraněn vzduch ze styku. Vytlačený tmel se potom odstraní špachtlí. Tímto způsobem vznikne pod lamelou vrstva lepidla tlustá cca. 1 až 2 mm, tloušťka celého systému se poté předpokládá cca. 3 mm.

e) Dokončovací práce

Po skončení lepení a zatvrdnutí lepidla se provede vizuální kontrola nalepené lamely a odtrhové zkoušky předem připravených vzorků. Následně může být povrch stavebního dílce srovnán sanační maltou, prostým omítnutím, nebo opatřen požadovanou požární ochranou.

Podmínky používání jednotlivých materiálů a způsob aplikace je uveden v technických listech, které musí být nedílnou součástí těchto technologicko-prováděcích předpisů.

Při aplikaci uhlíkových lamel byly použity níže uvedené mechanismy:

- plošná diamantová bruska Bosch GBR 14C s odsáváním
- elektrická míchačka materiálu
- přípravky pro nanesení lepidla na lamely
- vzduchový kompresor
- průmyslový vysavač Hilti
- elektrické ruční kladivo
- vozidlo pro přepravu materiálů

Po samotné aplikace uhlíkových lamel je nutné provést jednotlivé typy zkoušek a výstupy z těchto zkoušek musí zhotovitel předat objednavateli.

Pro jednotlivé vstupní materiály je zhotovitelem vždy předkládáno osvědčení o jakosti použitých materiálů, resp. je doložena způsobilost výrobce podle ISO 9001.

Zásadně je předkládáno tzv. "Prohlášení o shodě" podle § 13 zákona č.22/1997 Sb. [10] a § 11 nařízení vlády č.178/1997 Sb. [11].

Kontrolní zkoušky při provádění zahrnují tyto jednotlivé kroky:

1) Kontrola podkladu:

Spočívá ve vizuální kontrole podkladu z hlediska bezprašnosti. Rovinatost se kontroluje měrnou latí délky 2 m, kdy povolená odchylka je 5 mm. Naměřená odtrhová pevnost podkladu musí být vyšší než $1,5 \text{ N/mm}^2$. Dále se kontroluje teplota vzduchu, teplota podkladu a relativní vlhkost vzduchu.

2) Kontrola lepidla:

Zaznamenává se číslo šarže a expirační doba použitého lepidla. Dle požadavku odběratele se odebírá vzorek použitého lepidla pro pozdější ověření pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu.

3) Přezkoušení nalepeného spoje:

Měří se odtrhovým přístrojem soudružnost s podkladem pomocí zkušebních odtrhů předem nalepených vzorků lamely. Provádí se kontrola dutých míst a vizuální přezkoušení lepených lamel. Vizuální kontrola se nezaznamenává, o odtrhových zkouškách je zápis ve stavebním deníku a následně je vystaven zkušební protokol, který předá zhotovitel objednavateli.

Nedílnou součástí aplikace uhlíkových lamel je také doprava a skladování. CFK lamela se skladuje odděleně podle druhu v originálních pevných obalech nebo volně zavěšena v nekonečných rolích tak, aby nedošlo k nadměrnému ohybu a mechanickému poškození lamely.

Epoxidová lepidla a čisticí prostředky skladujeme v uzavřených kovových obalech odděleně po jednotlivých složkách v temperovaných skladech, kde teplota neklesne pod + 10°C.

Doprava materiálu se provádí v uzavřených automobilech tak, aby nedošlo k poškození materiálu klimatickými vlivy, jakými jsou vítr, mráz, déšť apod.

Při aplikaci uhlíkových lamel musí odborně vyškolení pracovníci dodržovat bezpečnostní předpisy. Před nástupem na stavbu musí být pracovníci zhotovitele proškoleni dle tematického plánu školení BOZP. Školení musí být provedeno dle NV 591/2006 Sb.[12], zákona č. 362/2005 Sb.[13] - lešení a 356/2003 Sb.[14] – nakládání s nebezpečnými a chemickými látkami. Pracovníci se budou pohybovat ve vymezeném prostoru stavby a řídit se dopravními značkami a bezpečnostními tabulkami, které jsou umístěny v jednotlivých objektech. Každé poranění, které bude způsobené při činnostech na pracovišti, budou hlásit pracovníci vedoucímu stavby. Vedoucí stavby musí klást důraz na používání těchto prostředků BOZP:

- výstražné vesty,
- ochranné helmy, brýle,
- rukavice a pracovní oděv s označením firmy a pracovníka.

Vedoucí stavby musí také dbát na to, aby pracovníci nebyli ohroženi pádem z výšky (schody, žebříky, zvýšená pracoviště, lešení).

Před zahájením prací bude převzato lešení (plošina) a v případě potřeby předloženy všechny příslušné doklady o jeho provedení a bezpečnosti. Dále bude vždy při zahájení směny kontrolován jeho stav (kompletnost) včetně podlažek a zábradlí.

Při práci s elektrickými stroji je nutné dbát na to, aby vždy před zahájením prací byl vizuálně zkontrolován elektrický kabel 220 V, funkčnost vypínačů, upínacích hlaviček nástrojů a vše rovněž průběžně kontrolováno při provádění prací.

Při práci s EP materiálem a čisticími prostředky je nutné se řídit bezpečnostními listy jednotlivých výrobků, které musí být vždy dodány a pracovníci s nimi seznámeni. Při míchání materiálu a čištění stroje je nutno zabránit úkapům (pomocí savých hader), které jsou skladovány po použití v igelitových pytlích. Všechny tyto materiály včetně plechových dóz od materiálu jsou po ukončení prací skladovány na bezpečném místě a následně ekologicky zlikvidovány. Doklad o ekologické likvidaci předá zhotovitel objednavateli.

4. 2. 2. Technologický a prováděcí předpis aplikace požární ochrany CFK lamel

Jedním ze způsobů ochrany CFK lamel proti požáru je za pomoci obkladových desek. V konkrétním případě, na který je aplikován následující technologicko-prováděcí předpis je používána technologie obkladových desek Promatec od firmy PROMAT s.r.o.

Jedná se o velkoformátové požární ochranné desky, které jsou vyrobeny na cementovápené bázi odolávající vlhkosti a zároveň jsou samonosné. Na konstrukci mohou být dodávány 2 základní druhy a to Promatec H s objemovou hmotností 870 kg/m^3 ve formátech $1250 \times 2500 \text{ mm}$ a $1250 \times 3000 \text{ mm}$ a Promatec L s objemovou hmotností 450 kg/m^3 ve formátu $200 \times 250 \text{ mm}$. Uvedené stavební díly mají požadovanou odolnost dle ČSN 73 0862 [16]. Výše uvedené desky jsou dodávány v tloušťkách v rozmezí 6 - 50 mm. Konkrétní specifikace na danou konstrukci jsou vždy součástí prováděcího projektu.

Během aplikace byly použity tyto materiály:

- **Promatec L** - lehčený požární obklad na cementovápené bázi tloušťky $2 \times 20 \text{ mm}$.
- **Promatmel** - speciální hmota k vyplnění spár a nerovností mezi obkladem a stavební konstrukcí.

Na závěr stavby musí zhotovitel předat objednateli certifikáty a technické listy použitých materiálů včetně certifikace výrobců podle ČSN 73 0862 [15].

Pracovní postup aplikace protipožárních desek se skládá z několika následujících kroků, jakými jsou příprava podkladu, příprava protipožárních desek, aplikace protipožárních desek, dokončovací práce.

a) Příprava podkladu

Na konstrukci jsou nejprve aplikovány CFK lamely pomocí epoxidového lepidla. Rozmístění lamel na konstrukci je dáno projektem pro zesílení konstrukce pomocí CFK lamel. Po vytvrzení lepidla, provedení všech kontrolních zkoušek a kontrole rozmístění lamel se na konstrukci vytýčí „kolizní“ místa a přistupuje se k provedení požární ochrany pomocí obkladových desek Promatec L v rozměru 2 x 20 mm.

Povrch konstrukce musí splňovat rovinatost a být zbaven povrchových nečistot a nerovností. S ohledem na předem aplikovaný CFK systém se předpokládá, že povrch bude způsobilý k aplikaci požárního obkladu.

b) Příprava desek

Desky budou nařezány na požadované rozměry dle zpracovaného projektu. U jednotlivých lamel je šíře obkladu 250 mm (100 mm na obě strany + šíře lamely 50 mm = 250 mm) ostatní poté dle projektu.

c) Aplikace desek

Na připravené desky bude po krajích nanesen tmel Promatmel a deska osazena na konstrukci, ke které bude přikotvena pomocí „turbo“ šroubů. Délka šroubu je 60 mm, průměr šroubů 6,5 mm a kotevní hloubka 40 mm. Rozteč šroubů je 250 mm. Šrouby jsou Berner RA Betonfix 7,5 x 60 mm. Před aplikací bude konstrukce navrtána pomocí příklepové vrtačky vrtákem o průměru 6,5 mm do hloubky cca 50 mm. Následně dotažen šroub pomocí elektrické utahovačky. Tmel je dodáván v plastových nádobách a je připraven k okamžitému použití. Aplikován je na desky ručně pomocí spárovací pistole, špachtle, nebo spárovacích pytlíků.

d) Dokončovací práce

Po aplikaci první vrstvy obkladových desek bude na konstrukci připevněna druhá vrstva desky Promatec L tl. 20mm. V druhé vrstvě je potřeba dbát na překrytí spodních spár, které musí být min. 100 mm. Druhá vrstva je přikotvena k první vrstvě pomocí sponkovaček – svorky z ocelového drátu o rozměru 38/10,7/1,2mm v rozteči 100 mm.

Podmínky používání jednotlivých materiálů a způsob aplikace je uveden v technických listech, které musí být nedílnou součástí těchto technologicko-prováděcích předpisů.

Při aplikaci protipožárního obkladu používají odborně vyškolení pracovníci tyto mechanismy:

- Okružní pilka
- Vzduchový kompresor
- Přiklepové vrtačky
- Elektrické utahovačky
- Průmyslový vysavač
- Vozidla k přepravě materiálů

Po samotné aplikaci protipožárních desek je nutné provést jednotlivé typy zkoušek a výstupy z těchto zkoušek musí zhotovitel předat objednavateli.

Pro jednotlivé vstupní materiály je zhotovitelem vždy předkládáno osvědčení o jakosti použitých materiálů, resp. je doložena způsobilost výrobce podle ISO 9001.

Zásadně je předkládáno tzv. "Prohlášení o shodě" podle § 13 zákona č.22/1997 Sb. [10] a § 11 nařízení vlády č.178/1997 Sb. [11].

Kontrolní zkoušky při provádění zahrnují tyto jednotlivé kroky:

1) Kontrola podkladu:

Provádí se vizuální kontrola podkladu z hlediska bezprašnosti a rovinatosti.

2) Kontrola tmelu:

Zaznamenává se číslo šarže a expirační doba použitého tmelu.

3) Kontrola kotvení:

Kontroluje se dodávka šroubů na stavbu (především rozměry), hloubka kotvení a rozteč kotevních šroubů. Ve vrchní vrstvě se kontrolují použité sponky a rozteč jednotlivých sponek při kotvení.

Součástí aplikace protipožárních desek je doprava, která zahrnuje dodání Promatec desek na velkoformátových paletách, nebo předem připravené v přířezech na požadované rozměry. Dovoz na stavbu je v uzavřených vozidlech a skladování na suchých místech tak, aby nedošlo během transportu a vykládky k jejich mechanickému poškození.

Promatmel se dodává v plastových nádobách. Promatmel se skladuje v temperovaných skladech, kde teplota neklesne pod + 5°C. Doprava materiálu se provádí v uzavřených automobilech tak, aby nedošlo k poškození materiálu klimatickými vlivy, jakými jsou vítr, mráz, déšť apod.

Při aplikaci protipožárních desek musí odborně vyškolení pracovníci dodržovat bezpečnostní předpisy. Před nástupem na stavbu musí být pracovníci zhotovitele proškoleni dle tematického plánu školení BOZP. Školení musí být provedeno dle NV 591/2006 Sb. [12], zákona č. 362/2005 Sb. [13] - lešení a 356/2003 Sb. [14] – nakládání s nebezpečnými a chemickými látkami. Pracovníci se budou pohybovat ve vymezeném prostoru stavby a řídit se dopravními značkami a bezpečnostními tabulkami, které jsou umístěny v jednotlivých objektech. Každé poranění, které bude způsobené při činnostech na pracovišti, budou hlásit pracovníci vedoucímu stavby. Vedoucí stavby musí klást důraz na používání těchto prostředků BOZP:

- výstražné vesty,
- ochranné helmy, brýle,
- rukavice a pracovní oděv s označením firmy a pracovníka.

Vedoucí stavby musí také dbát na to, aby pracovníci nebyli ohroženi pádem z výšky (schody, žebříky, zvýšená pracoviště, lešení).

Před zahájením prací bude převzato lešení (plošina) a v případě potřeby předloženy všechny příslušné doklady o jeho provedení a bezpečnosti. Dále bude vždy při zahájení směny kontrolován jeho stav (kompletnost) včetně podlažek a zábradlí.

Při práci s elektrickými stroji je nutné dbát na to, aby vždy před zahájením prací byl vizuálně zkontrolován elektrický kabel 220 V, funkčnost vypínačů, upínacích hlaviček nástrojů a vše rovněž průběžně kontrolováno při provádění prací.

Při práci s EP materiálem a čisticími prostředky je nutné se řídit bezpečnostními listy jednotlivých výrobků, které musí být vždy dodány a pracovníci s nimi seznámeni.

Při míchání materiálu a čištění stroje je nutno zabránit úkapům (pomocí savých hader), které jsou skladovány po použití v igelitových pytlích.

Všechny tyto materiály včetně plechových dóz od materiálu jsou po ukončení prací skladovány na bezpečném místě a následně ekologicky zlikvidovány. Doklad o ekologické likvidaci předá zhotovitel objednavateli.

5. Využití normy ČSN EN 1998-3 při zesilování zděných konstrukcí

Velmi důležitou činností před provedením samotné aplikací kompozitních materiálů je odborný stavebně technologický průzkum dané konstrukce. Tento průzkum nám pomáhá v rozhodování o volbě použité technologie a zároveň také v citlivém přístupu k samotné konstrukci.

Stavebně technologický průzkum vychází z požadavků ČSN EN 1998-3 [16] zahrnující 3 základní požadavky a to celkovou geometrii konstrukce, která vychází z projektové dokumentace, popř. z komplexního průzkumu konstrukce, konstrukční detaily, které opět získáme z projektové dokumentace nebo z průzkumu na staveništi, materiály, u kterých jsou jednotlivé mechanické vlastnosti známy z provedených zkoušek na staveništi, příp. z původních protokolů o zkouškách.

Po provedení stavebně-technologického průzkumu následuje vyhodnocení, což je postup, kterým se zjišťuje, zda danou konstrukci je nutné zesílit, popř. v jak velkém rozsahu je nutné konstrukci zesílit. Norma ČSN EN 1998-3 [16] je určena pro hodnocení jednotlivých pozemních staveb, především pro potřeby rozhodnutí konstrukčních opatření a návrhu zesílení konstrukce.

Zaměříme-li se na část zděných staveb v ČSN EN 1998-3 [16] lze zjistit následující informace a požadavky.

Při provádění stavebně-technologického průzkumu se vyšetřují tyto hlediska:

- druh zdících prvků (zda se jedná o pálené, betonové, duté příp. jiné zdící prvky)
- fyzikální stav zdiva a jeho případné poruchy
- uspořádání zdiva a jeho vazba
- vlastnosti jednotlivých použitých materiálů, jakost vazeb
- přítomnost a připevnění obkladů, vzdálenosti mezi příčkami, apod.
- informace o přilehlých budovách, které by se mohly navzájem ovlivňovat se zesilovanou konstrukcí

Výše uvedené body jsou obecnými hledisky využívající se ve stavebně-technologickém průzkumu. Pokud bychom se měli zaměřit na geometrii konstrukce a konstrukční uspořádání musíme dle normy získat následující údaje.

Vzhledem k tomu, že v normě se nachází velké množství požadavků, pro ukázkou je dobré si uvést ty nejdůležitější.

V rámci geometrie se jedná o tyto položky:

- velikosti a umístění smykových stěn, vč. jejich rozměrů
- rozměry zdících prvků, umístění a velikostí otvorů ve zdivu

U konstrukčního uspořádání řadíme mezi nejdůležitější tyto položky:

- klasifikace stěn (nevyztužené, sevřené, vyztužené)
- přítomnost a jakost malty
- množství vodorovné výztuže ve vyztužených stěnách
- stanovení typu a stavu malty a maltových spár, atd.

Z uvedených požadavků je jasné patrné, že každý technologický průzkum musí být proveden odbornými pracovníky s potřebnou kvalifikací. Jen tak lze dosáhnout kvalitních výsledků, které se odrazí ve volbě použité technologie zesilování konstrukce.

Mezi jednotlivé způsoby zesilování zděných konstrukcí pozemních staveb dle ČSN EN 1998-3 [16] řadíme:

- opravy trhlin
- opravy a zesilování styků stěn
- věnce
- zesilování budov pomocí ocelových táhel
- zesilování výplní stěn (za předpokladu vícevrstvé stěny)
- zesilování stěn železobetonovými plášti, příp. ocelovými profily
- zesilování stěn pláštěm s polymerovými sítěmi

Jak je patrné, zesilování zděných konstrukcí pomocí kompozitních materiálů není prozatím pevně zakotveno v českých normách. Vzhledem k rozvíjejícímu se trendu použití kompozitních materiálů, lze očekávat zařazení zesilování konstrukcí kompozitními materiály do českých norem.

6. Porovnání technologie použití kompozitních materiálů s tradičními způsoby zesilování zděných konstrukcí pozemních staveb

Pro srovnání technologie kompozitních materiálů s tradičními způsoby zesilování zděných konstrukcí nám dobře poslouží *tab. č. 1 - přehled tradičních způsobu zesilování zděných konstrukcí*.

Jak je z této tabulky patrné, tradiční způsoby zesilování zděných konstrukcí mají v současném stavebnictví své nezastupitelné místo, avšak při provádění jednotlivých způsobu zesilování je nutné používat technologie a stroje náročnější nejen na způsob provádění, ale také na velikost místa pro provádění zesilování, což ve výsledku zvedá cenu stavební zakázky na zesilování zděných konstrukcí. Oproti tomu kompozitní materiály těží především ze svých vlastností, vzhledem k jejich únosnosti a hmotnosti. Je třeba si říci, že kompozitní materiály jsou také finančně nákladné, ale počáteční finanční náročnost se nám vrátí zpět v podobě času, který by museli pracovníci strávit na stavbě v případě použití tradičních způsobu zesilování.

Při rozhodování o použité technologii je nutné si vždy uvědomit jednotlivá specifika konkrétní konstrukce, která je určená k zesilování. Ne vždy lze použít tradiční způsoby zesilování konstrukcí, stejně tak ne vždy můžeme použít zesílení konstrukcí pomocí kompozitních materiálů. Rozhodování vždy závisí na provedeném stavebně-technologickém průzkumu, vzhledu a stavu dané konstrukce. V neposlední řadě je nutné respektovat požadavek investora, příp. památkářů na estetický vzhled konstrukce, pokud se jedná o historickou budovu.

Pro ukázkou je dobré si uvést příklad počátečních finančních nákladů materiálu při použití kompozitních materiálů. Cena 1m uhlíkové lamely pro zesílení zdiva průřezu 50 mm² a doporučeném zatížením v tahu 80 kN se pohybuje v ceně okolo 700,-Kč/m. Vzhledem k dodávce v rolích 250 m vychází cena jedné role uhlíkových lamel přibližně na 175 000,-Kč. Z částky je vidět, že finanční náklad může být značný, ale je nutné si spočítat náklady na pracovníky, materiál a stroje při použití tradičních technologií zesilování konstrukcí.

Při provádění zesílení konstrukce pomocí kompozitních materiálů nám např. odpadá nutnost podstojkovat překlady při jejich zesilování kompozitními materiály apod.

Srovnání tradiční technologie a použití kompozitních materiálů lze také ukázat na zesílení stropní konstrukce. Použijeme-li tradiční způsob zesilování např. přidáním I profilů, je nutné v rámci zesílení provést tyto úkony - bednění stropů, výztuž stropů svařovanou sítí, zazdívka zhlaví válcovaných profilů, osazení válcovaných nosníků, práce s tím spojené atd. Hrubý náklad na tyto práce a pracovníky činí přibližně 500 000,-Kč. Pokud bychom použili kompozitní materiály např. uhlíkové lamely, konkrétně celou 250 m roli v částce 175 000,- Kč, lepidla, vč. materiálu a prací s tím spojených dostaneme výslednou částku cca. 450 000,- Kč. Jednotlivé finanční částky jsou pouze orientační a mohou se lišit v závislosti na použitém způsobu zesílení a stavu dané konstrukce. O konkrétním způsobu zesílení konstrukce rozhodují vždy odborní pracovníci s požadovanou kvalifikací.

7. Závěr

Problematika zesilování zděných konstrukcí pozemních staveb je v současnosti poměrně rozsáhlá a vyžaduje značné odborné znalosti. U zděných konstrukcí se aplikují zejména kompozitní materiály typu vlepovaných uhlíkových tyčí do spár nebo také zesilování zděných kleneb, pilířů pomocí uhlíkových tkanin. Kompozitní materiály typu uhlíkových lamel se využívají zejména u betonových konstrukcí. Díky svým vlastnostem nacházejí čím dál větší uplatnění ve stavebnictví a v rámci propojení vědy a výzkumu kompozitních materiálů s praxí, lze očekávat do budoucna jejich neustálý vývoj a větší rozšíření při zesilování konstrukcí pozemních staveb.

Příloha č. 1 - ukázkový příklad posouzení konstrukce a návrhu zesílení kompozitním materiálem

V&V stavební a statická kancelář, spol. s r. o.

Havlíčkovo nábřeží 38

702 00 Ostrava 1

Tel.: 597 578 405

E-mail: vav@vav-ova.cz

web: www.vav-ova.cz

Zak. číslo: FUT- 2012

STATICKÉ POSOUZENÍ ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE OC FUTURUM BRNO - GARÁŽE

Název akce: 2869 - OC Futurum Brno
Posouzení stavu železobetonové konstrukce

Objednatel: Skanska a.s.
Divize pozemní stavitelství
Nad Tyrkou 101
739 61 Třinec

Stupeň dokumentace: posudek

Vypracoval: Ing. Tomáš Vašíček
autorizovaný inženýr v oboru
mosty a inženýrské konstrukce
č. autorizace 1102749

Ing. Vladimír Vašíček
autorizovaný inženýr v oboru
pozemní stavby, statika a dynamika staveb,
č. autorizace 1100019

Ostrava 06/2012

Arch. č.: FUT-2012-0/1

A. TECHNICKÁ ZPRÁVA

1. Všeobecně

Předmětem předložené zprávy a statického posouzení je stanovisko týkající se stavebně-technického stavu nosné betonové konstrukce a statického posouzení stávajícího patrového parkoviště OC Futurum v Brně, a to zejména stavu nosných betonových trámů stropu, u kterých se zřetelně objevují trhliny.

Je nutno podotknout, že na nosné betonové konstrukci se vyskytuje řada poruch a závad, z nichž některé byly již odstraněny, tyto poruchy však s výjimkou trhlin v nosných trámech nejsou předmětem posudku.

Toto stanovisko je založeno na následujících podkladech:

- (1) vlastní vizuální prohlídka nosné betonové konstrukce provedená dne 30. 5. 2012 a doplněná ověřením počtu a druhu betonářské výztuže v trámech
- (2) projekt stavby Dostavba obchodního komplexu Carefour, 3. etapa - patrové garáže, statický výpočet, zpracovatel KHS, spol. s r.o., Bartošova 3, 602 00 Brno, květen 2000
- (3) znalecký posudek č. ZU-FAST-21/2010, zpracovatel Doc. Ing. Karel Kubečka, Ph.D., Ostrava 2010
- (4) sanace trhlin nosné konstrukce parkoviště, zpracovatel Ing. Fabri, 2012
- (5) část dokumentace akce Dostavba obchodního komplexu Carrefour – III. Etapa – Patrové garáže – změna 1 - KHS spol. s r.o. 08/2000
- (6) ověření výztuže profometrem – 06/2012

2. Stavebně-technický průzkum

Stavebně-technický průzkum doplněný diagnostikou a prováděný v rámci posudků zahrnoval:

- měření šířky trhlin a jejich rozmístění
- provedení jádrových vývrhů a stanovení pevnosti betonu v tlaku
- měření profometrem za účelem rozmístění výztuže v trámu (není však v posudku dokladováno)

Při vizuální prohlídce konané dne 30. 5. 2012 bylo provedeno kontrolní ověření betonářské výztuže a po odsekání krycí vrstvy betonu bylo konstatováno:

- v průřezu se nachází betonářská výztuž z oceli 10 505 o průměru 20 mm
- rozmístění výztuže v průřezu:
 - 3 pruty $\varnothing R 20$ ve spodní řadě
 - 3 pruty $\varnothing R 20$ ve druhé řadě
 - 2 pruty $\varnothing R 20$ ve třetí řadě

3. Doplnění podkladů

Pro statický výpočet byla dohledána část dokumentace, která odpovídá skutečnému provedení konstrukce. Bylo upřesněno stálé zatížení, tzn., byla určena mocnost pojízdné vrstvy (polyuretanová stěrka tl.3mm), byla upřesněna mocnost nadbetonávky desky pro spřažení (filigrán tl.70mm, nadbetonávka v tl.80-320mm).

Dále byla ověřena výztuž profometrem, bylo zjištěno stejné množství výztuže jako při odsekání krycí vrstvy betonu. Tzn. nosnou výztuž trámů tvoří 8 $\varnothing R20$, třmínky $\varnothing R8$ á 200-250mm.

Nosnou konstrukci stavby tvoří betonový skelet sestávající ze základních prvků, kterými jsou:

- sloup s konzolami
- hlavní nosný průvlak osazený na konzolách sloupů
- hlavní nosné trámy- stropní a střešní, které spočívají na konzolách průvlaků
- stropní deska, která je tvořena zřejmě filigránovými prefabrikáty s dobetonávkou. Tloušťka stropní desky nebyla ověřena.

5. Poruchy stropních a střešních trámů, klasifikace trhlin

Na trámech se vyskytují trhliny, přičemž charakter trhlin a jejich počet je v podstatě shodný u všech trámů této délky.

Trámy jsou narušeny charakteristickými trhlinami, jejichž průběh je zřetelně zvýrazněn na střešním trámu v řadě sloupů mezi B2, C2.

- a) Trhliny, jejichž šířka je největší zhruba uprostřed výšky trámu a směrem ke krajům se šířka trhliny zmenšuje, na okrajích pak trhlina téměř vymizí. Maximální šířka trhliny $0,3 \div 0,6$ mm.

Tyto trhliny lze klasifikovat jako trhliny smršťovací.

- b) Trhliny, které se vyskytují ve spodní třetině výšky trámu a směrem vzhůru se uzavírají.

Trhliny lze klasifikovat jako trhliny ohybové.

- c) Šikmé trhliny v místech uložení trámů na průvlak, tj. v místech náhlé změny průřezu.

Trhliny lze klasifikovat jako trhliny smykové.



Obr. č. 11 - Vyšetřovaná konstrukce [18]



Obr. č. 12 - Vyšetřovaná konstrukce [19]



Obr. č. 13 - Vykřetřovaná konstrukce [20]

6. Závažnost trhlin

a) Smršťovací trhliny

Smršťovací trhliny vznikly zřejmě jako důsledek smršťování ve stadiu výroby anebo při předčasném osazení do konstrukce - mladý, nevyzrálý beton.

Tyto trhliny nejsou až tak závažné z hlediska statického, mohou však negativně ovlivnit životnost konstrukce - zvýšená možnost degradace a koroze výztuže, zvláště u trhlin větších jak $0,3 \div 0,5$ mm.

b) Ohybové trhliny

Vyztužené prvky namáhané ohybem se porušují soustavou ohybových trhlin kolmo na směr hlavní výztuže

Jestliže má být ocel 10 505 plně využita, musí se připustit poměrné přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{R_{sd}}{E_s} = \frac{450}{210000} = 0,00214 = 0,214\%, \text{ což je větší než poměrné přetvoření betonu při}$$

porušení v tahu $\varepsilon_b = 0,01 \%$.

Jsou tedy trhliny v tažených oblastech železobetonových konstrukcí běžným jevem a není je možné automaticky považovat za poruchu.

Na druhé straně mohou signalizovat poruchy, zejména pokud jejich šířka, délka resp. vzdálenost překročí limitní hodnoty.

c) Smykové trhliny

Drobné trhliny ve smykové oblasti nemusí být na závadu, neboť jejich šířka nepřekračuje přijatelné hodnoty do 0,2 mm.

7. Statický výpočet a jeho výsledky

Důvodem pro provedení statického přepočtu byly zejména následující okolnosti:

- výskyt tahových trhlin, délka a vzdálenost trhlin
- nesoulad mezi zjištěnými skutečnostmi a předpoklady statického výpočtu:
 - pevnost betonu stropních trámů:
 - dle statického výpočtu B50
 - dle výrobního štítku na konstrukci trámu B45
 - množství výztuže a její rozmístění
 - dle statického výpočtu (2) 10ØR20 ve střešním trámu a 8ØR20 ve stropním trámu

Statický přepočet byl s ohledem na řadu nejasností proveden samostatně pro střešní a stropní trám v následujících variantách:

a) dle předpokladů statického výpočtu:

- spřažený T průřez resp. obdélníkový průřez (pro případ nefunkčního spřažení)
- beton B 50
- výztuž 10ØR20 pro střešní trám
- výztuž 8ØR20 pro stropní trám

b) dle zjištěných skutečností

- spřažený T průřez a resp. obdélníkový průřez (pro případ nefunkčního spřažení)
- beton B30
- výztuž 7ØR20

Z provedeného statického výpočtu vyplývá:

Střešní trám

Průřez	dle předpokladů stat. výpočtu (2) - B 50 - výztuž 10ØR20
<ul style="list-style-type: none">• T průřez• obdélníkový průřez	<p>vyhoví</p> <p>nevyhoví</p>

Stropní trám

Průřez	dle předpokladů stat. výpočtu (2) - B 50 - výztuž 8ØR20
<ul style="list-style-type: none">• T průřez• obdélníkový průřez	<p>vyhoví</p> <p>nevyhoví</p>

Ze statického přepočtu vyplývá, že střešní a stropní trámy vyhoví na dané zatížení jen při uvažování prvků jak T průřezu. Dle dostupné dokumentace (část dokumentace akce Dostavba obchodního komplexu Carrefour – III. Etapa – Patrové garáže – změna 1 - KHS spol. s r.o. 08/2000) je deska s trámem spřažena.

8. Návrh sanace

Pro sanaci železobetonové konstrukce se předpokládá následující postup:

1. Trhliny do šířky 0,2 - 0,3 mm

Trhliny se zatrou vhodným pružným nátěrem.

2. Trhliny šířky větší než 0,3 mm

Trhliny se zainjektují nízkoviskozní epoxidovou pryskyřicí.

S ohledem na výsledky statického přepočtu zesílení konstrukce není nutné.

9. Závěr

Závěrem statického šetření lze konstatovat:

- trhliny v betonové konstrukci stropních trámů nejsou staticky závažné, neohrožují únosnost konstrukce, pouze by mohly nepříznivě ovlivnit její životnost
- nepříznivý vliv trhlin na životnost konstrukce bude eliminován především injektáží trhlin větších než 0,3mm, resp. u menších trhlin jejich zatěsněním pružným nátěrem
- zesílení konstrukce není s ohledem na vyhovující únosnost trámů nutné

B. STATICKÝ VÝPOČET

Statický přepočet dle zjištěných skutečností

Trám o rozpětí $L = 15,10$ m, zatěžovací šířka 2,5m (vzdálenost trámů)

Posouzení železobetonového trámu bylo provedeno dle normy ČSN 731201 - Navrhování betonových konstrukcí (platná v době výstavby objektu), a zatížení dle ČSN 73 0035 – Zatížení stavebních konstrukcí.

Zatížení na konstrukci:

- stálá zatížení - vlastní tíha konstrukce, ostatní stálé zatížení
- nahodilá zatížení – vozidla $2,5\text{kN/m}^2$, zatížení sněhem $0,5\text{ kN/m}^2$

Protokol zatížení: Prutové zatížení- střecha - tl. desky 0,15m

Zatížení stálé

	Normové [kN/m]	Koef. [-]	Výpočet. [kN/m]

Vlastní tíha konstrukce			
Průřez: obdélník	5.25	1.10	5.78
Nabetonování pro spřažení včetně filigránu - deska celkem tl	9.38	1.10	10.31

Součet vlastní tíhy konstrukce	14.63		16.09

Tíha trvalých součástí objektu			
Polyuretanová stěrka	0.4	1.30	0.52
Spádový beton prům.tl.123mm	7.68	1.30	9.98

Součet tíhy trvalých součástí objektu	8.23		10.70

Součet stálého zatížení	22.86		26.59

Zatížení nahodilé

		Normové [kN/m]	Koef. [-]	Výpočet. [kN/m]

Užitné zatížení				
vozidla	- dlouh.	6.25	1.30	8.13
ostatní	- dlouh.	0.30	1.20	0.36

Součet užitného zatížení		6.55		8.49

Klimatické zatížení				
sníh	- krátk.	1.25	1.40	1.75

Součet klimatického zatížení		1.25		1.75

Součet nahodilého zatížení		7.80		10.24
=====				
Součet zatížení		30.66		36,80

Vnitřní síly - střešní trám

$$M=1/8 \times 15,1 \times 15,1 \times 36,80 = 1048 \text{ kNm} \quad Q = 280 \text{ kN}$$

Vnitřní síly - stropní trám (odečten sníh 1,75kN/m)

$$M=1/8 \times 15,1 \times 15,1 \times 35,28 = 1006 \text{ kNm} \quad Q = 266 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu Řez T - patro

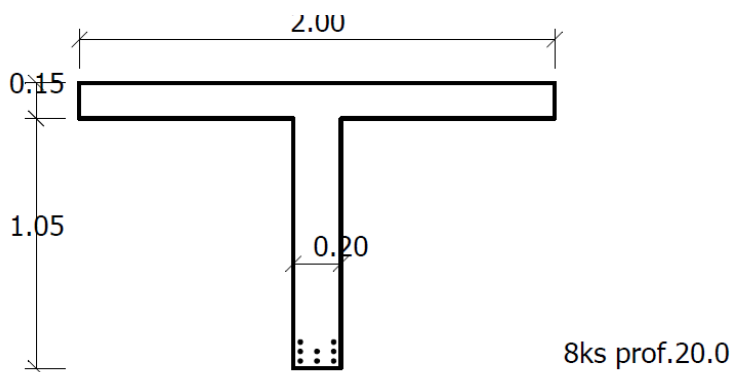
Průřez: T-průřez

Tloušťka stojiny $b_1 = 0.20 \text{ m}$

Výška stojiny $h_1 = 1.05 \text{ m}$

Šířka pásu $b_2 = 2.00 \text{ m}$

Tloušťka pásu $h_2 = 0.15 \text{ m}$



Materiál: Beton B 50, Ocel 10505 R

Tabulka výztuže

Číslo	Y	Z	Profil
	[m]	[m]	[mm]
1	0.000	1.170	20.0
2	0.070	1.170	20.0
3	-0.070	1.170	20.0
4	0.000	1.130	20.0
5	0.070	1.130	20.0
6	-0.070	1.130	20.0
7	0.070	1.090	20.0
8	-0.070	1.090	20.0

Řez Q (smyk) :

Zatížení

Posouvající síla Qd1 = 275.00 kN

Posouvající síla Qd2 = 0.00 kN

Vzdál. mezi Qd1 a Qd2 = 7.50 m

Třmínky

Materiál: Ocel 10505 R

Profil třmínků = 8.0 mm

Počet střihů = 2

Vzdál. třmínků = 0.30 m

Výsledky: Řez T - 15,1m - patro

Stupně vyztužení

Stupeň vyzt. horní části průř.	[%]	=	0.000
Stupeň vyzt. dolní části průř.	[%]	=	1.047
Stupeň vyzt. levé části průř.	[%]	=	0.000
Stupeň vyzt. pravé části průř.	[%]	=	0.000
Minim. stupeň vyzt. tahovou výztuží	[%]	=	0.115
Minim. stupeň vyzt. tlak. výztuží	[%]	=	0.050

Posouzení průřezu pro zadaná zatížení:

S tlačenou výztuží není počítáno.

Součinitel geometrie průřezu $\gamma_{a,u} = 1.000$

($N < 0 \Rightarrow$ tlak ; $M_y > 0 \Rightarrow$ spodní vlákna tažená

$M_z > 0 \Rightarrow$ vlákna vlevo tažená)

N	M_y	M_z	M_{uy}	M_{uz}	Výsledek
[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	[kNm]	
0.00	1048.00	0.00	1262.24	0.00	Vyhovuje

Mezní normálové síly: $N_{eu} = -1.1E+04$ kN, $N_{teu} = 1130.97$ kN

Průřez na namáhání M+N VYHOVUJE

Posouzení řezu Q (smyk) - výsledky:

Maximální posouvající síla	Q_d	=	275.00 kN
Únosnost betonu ve smyku	Q_{bu}	=	124.00 kN
Únosnost tréminkové výztuže	Q_{ss}	=	478.57 kN
Únosnost průřezu na smyk	Q_u	=	602.57 kN

$Q_d < Q_u \Rightarrow$ PRŮŘEZ NA SMYK VYHOVUJE.

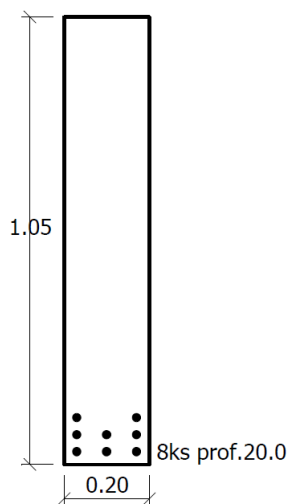
Posouzení železobetonového průřezu: Řez obdélník 1,05mx0,20m

Vstupní data: Řez obdélník 1,05mx0,20m

Průřez: obdélník

Výška průřezu $h = 1.05 \text{ m}$

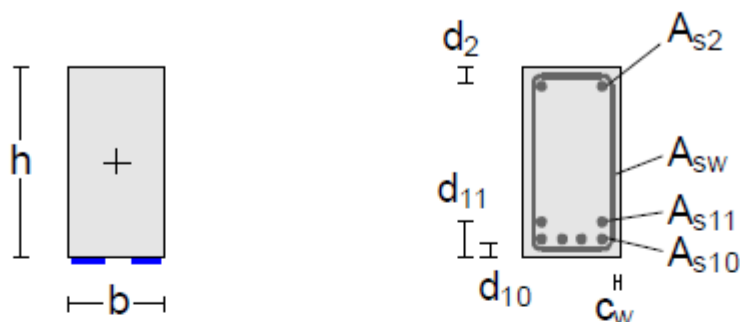
Šířka průřezu $b = 0.20 \text{ m}$



Materiál: Beton B 30, Ocel 10505 R

S&P FRP Lamella - Zesílení v tahu za ohybu pomocí CFK lamel -

Průřez:



Rozměry

Geometrie

Obdélník

h: 105 [cm]
b: 20 [cm]

Výztuž

A_{s10} : 25,13 [cm²]
 A_{s11} : 0 [cm²]
 A_{s2} : 0 [cm²]

Vzdálenost od okraje

d_{10} : 5 [cm]
 d_{11} : 0 [cm]
 d_2 : 0 [cm]

Materiál

Beton

Třída: C 35/45
 f_{ck} : 35 [N/mm²]
 ϵ_{cu} : 3,5 [o/oo]
 ϵ_{parab} : 2 [o/oo]
 α : 0,85 [-]
 τ_{Rd} : 0,3744 [N/mm²]
 γ_c : 1,5 [-]

Ocel

A_{s10} : R 450
 A_{s11} : R 450
 A_{s2} : R 450
 ϵ_{su} : 10 [o/oo]
 E_s : 200000 [N/mm²]
 γ_s : 1,15 [-]

CFK lamely

Typ: S&P 200/2000
 ϵ_{fu} : 13 [o/oo]
 $\epsilon_{f,lim}$: 6,5 [o/oo]
 E_f : 205000 [N/mm²]

Zatížení

Nezesílený stav

M_{Sk0} = 681 [kNm] (při lepení CFK lamel)

Zesílený stav

M_{Sdf} = 1048 [kNm] (maximální únosnost)

M_{Skf} = 866,1 [kNm] (provozní stav)

Výpočet dle:**EUROCODE 2****Počáteční přetvoření v konstrukci:**

$$M_{sk0} = 681 \quad [\text{kNm}]$$

Nezesílený stav

Moment v nezesíleném stavu

$$M_{Rd0} = 858,1 \quad [\text{kNm}]$$

Zesílený stav

Stupeň zesílení: $\eta = 1,22 \quad [-]$

Globální stupeň bezpečnosti:

bez lamel: $\theta = 1,18 \quad [-]$

Moment v zesíleném stavu (A_f):

$$M_{Rdf} = 1050,2 \quad [\text{kNm}]$$

Průřez lamelNavržený typ: **S&P 200/2000** **100/1.4**

Šířka: 100 [mm]

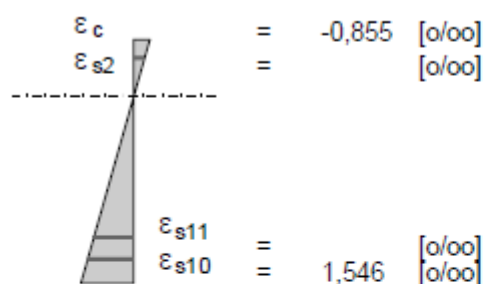
Tloušťka: 1,4 [mm]

Počet: 2

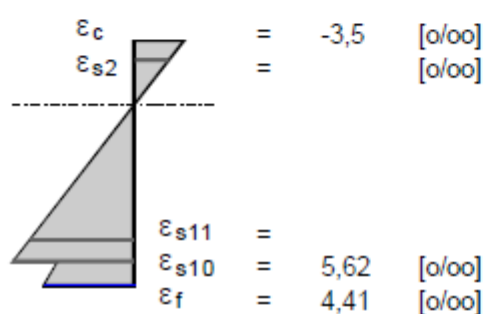
Posouzenípožadovaný A_f : 2,75 [cm²]skutečný A_f : 2,8 [cm²]

$$M_{Rdf} > M_{Sdf}$$

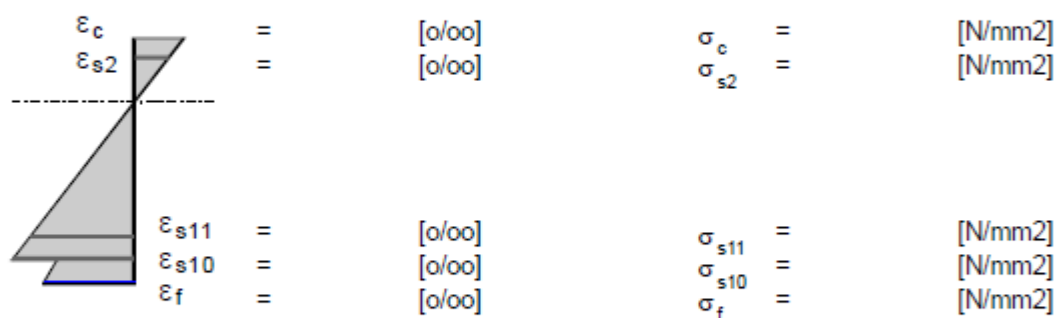
Prvotní přetvoření



Přetvoření - limitní únosnost (požadováno A_f)



Přetvoření / Napětí - provozní stav (požadováno A_f)



Tečení výztuže

$$\varepsilon_{sy} = 2,25 \quad [o/oo]$$

FRP Lamella [D:\Akce2012\Diplom\lamella105-střecha.dat]

Soubor Výpočet Extra Info

Projekt Geometrie Výztuž Ocel Beton CFK lamely Zatížení Kotvení Smyk

Počáteční (nezesílený) stav

Ohybový moment $M_{Sk0} = 681$ [kNm]

Zesílený stav

Výpočtový moment: $M_{Sdf} = 1048$ [kNm]

Ohybový moment:

☐ Exaktně $M_{Skf} = 866,1$ [kNm]

☒ Aproximaci

$M_{Skf} = \frac{M_{Sdf}}{\gamma_{výp}}$ $\gamma_{výp} = 1,21$ [-]

← calc →

Návrh Přetvoření ULS Přetvoření SLS Kotvení Smyk

Průřez lamel

Počet: 2 Průřez: 100/1.4

$w = 100$ [mm]

$t = 1,4$ [mm]

$A_{f,pož} = 2,75$ [cm²] $A_{f,pův} = 2,8$ [cm²]

Únosnost

$M_{Rd0} = 858,1$ [kNm]

$\eta = M_{Sdf} / M_{Rd0} = 1,22$ [-]

$\theta = M_{Rk0} / M_{Skf} = 1,18$ [-]

$M_{Rdf} > M_{Sdf}$

$M_{Rdf} = 1050,2$ [kNm]

Obr. č. 14 - Výpočtové prostředí programu FRP Lamella [21]

Příloha č. 2 - Plán jakosti stavební technologie - použití kompozitních materiálů při zesilování zděných konstrukcí

1. Cíl zpracování jakosti zvoleného procesu

Stavebně technologický proces popisuje technologický postup aplikace kompozitních uhlíkových lamel pro zesilování konstrukcí.

Cíle procesu jsou:

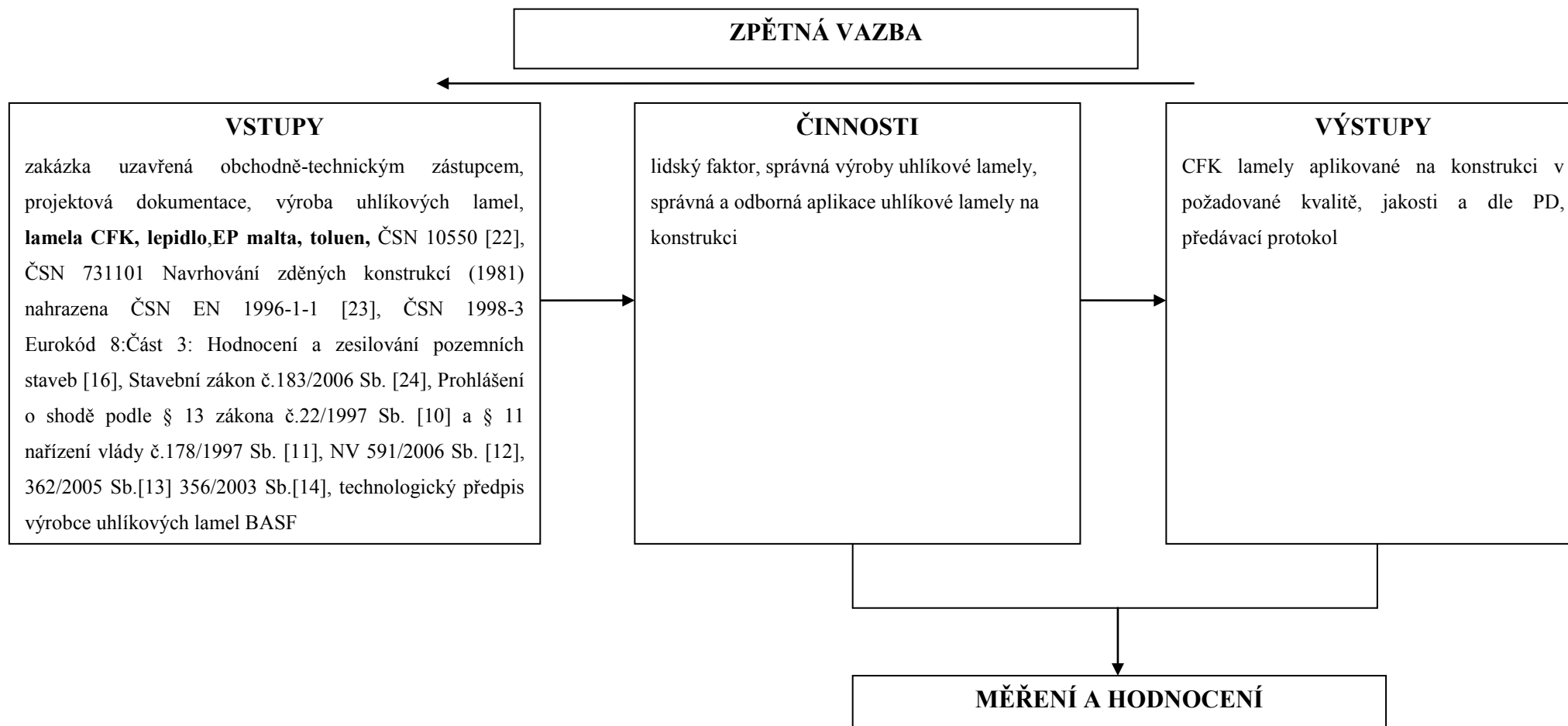
- zakázka uzavřená obchodně technickým zástupcem na základě konkrétních požadavků zákazníka
- výběr uhlíkových vláken na výrobu uhlíkových lamel,
- výroba uhlíkových lamel
- smotání lamel do rolí
- doprava na konkrétní stavbu
- aplikace uhlíkových lamel na konkrétní konstrukci

2. Model procesu, popis vstupů, činností, výstupů

Popis procesu

- výroba jednotlivých prvků uhlíkové lamely
- doprava a aplikace uhlíkové lamely na požadovanou konstrukci
- zesílená konstrukce jako celek

Model procesu je zobrazen na následující stránce v grafu č. 1



Graf č. 1 - model procesu plánu jakosti stavební technologie - použití kompozitních materiálů při zesilování zděných konstrukcí

Popis vstupů

- zakázka uzavřená obchodně-technickým zástupcem
- projektová dokumentace zhotovená na základě požadavků zákazníka
- výroba uhlíkových lamel
- **lamela CFK** - lisovaná kombinace velkého množství tenkých uhlíkových vláken a matrice z epoxidové pryskyřice BASF MBrace® S&P 150/2000 typ 50/1,2 a 80/1,2mm
- **lepidlo** - 2-komponentní systémová lepicí směs na bázi epoxidových pryskyřic, bez rozpouštědel pro silové spojení – BASF MBrace® Epoxikleber 22
- **EP malta** - 3-komponentní malta na bázi epoxidových pryskyřic, bez rozpouštědel, thixotropní, pro vysrávku nerovného povrchu
- **toluen** - speciální čisticí prostředek na lamely
- ČSN 10550 Zatížení konstrukcí a namáhání stavebních látek [22]
- ČSN 731101 Navrhování zděných konstrukcí (1981), nahrazena ČSN EN 1996-1-1 [23]
- ČSN 1998-3 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 3: Hodnocení a zesilování pozemních staveb [16]
- Stavební zákon č.183/2006 Sb. [24]
- Prohlášení o shodě podle § 13 zákona č.22/1997 Sb. [10] a § 11 nařízení vlády č.178/1997 Sb. [11]
- NV 591/2006 Sb., [12]
- 362/2005 Sb. - lešení [13]
- 356/2003 Sb. – nakládání s nebezpečnými a chemickými látkami [14]
- technologický předpis výrobce uhlíkových lamel BASF

Popis činností

- lidský faktor - všichni pracovníci provádějící výrobní, montážní a odborné práce jsou proškoleni a seznámeni s veškerými možnostmi rizik, BOZP
- správná výroba uhlíkové lamely
- správná a odborná aplikace uhlíkové lamely na konstrukci

Popis výstupů

- CFK lamely aplikované na konstrukci v požadované kvalitě, jakosti a dle PD
- předávací protokol

Popis pracovního postupu aplikace uhlíkové lamely na konstrukci

Aplikace uhlíkových lamel probíhala v několika následujících krocích a to příprava lamely, příprava podkladu, příprava a nanesení lepidla, nalepení lamely, dokončovací práce.

a) Příprava lamely

Lamela je dodávána ve formě nekonečného pásu v rolích o průměru cca. 1 m v délkách 100 až 250 m. Pro dělení na požadované délky je třeba roli zajistit proti „rozmotání“ pomocí svěrek. Vlastní dělení lamely se provádí snadno, ručním řezáním pilkou na železo, nebo úhlovou bruskou. Lamelu je třeba pomocí přípravku fixovat tak, aby nedocházelo k třepení konců. Stykovou plochu nařezané lamely je třeba dále očistit od uhlíkového prachu speciálním čistidlem a čistými bílými hadříky. Čištění probíhá tak dlouho, dokud hadřík nezůstane bílý. Takto očištěná lamela je již připravena k nanesení lepidla.

b) Příprava podkladu

Povrch konstrukce pro přilepení lamely musí splňovat řadu kvalitativních parametrů, zejména odtrhovou pevnost, která činí min 1,5 N/mm². Tato odtrhová pevnost se prokazuje vždy provedením několika odtrhových zkoušek. Teplota podkladu musí být min. 3°C a samotná aplikace může být provedena v teplotách v rozmezí od 8°C do 35°C. Vlhkost musí být max. 4%, rovinatost podkladu max. 5 mm při měření na 2 m lati a absolutní bezprašnost. Absolutní bezprašností dosáhneme přípravou povrchu v následujících krocích:

- vytýčení os jednotlivých lamel na konstrukci
- provedení odtahových zkoušek podkladu
- zbroušení povrchu (nerovností) pískováním nebo bruskou s odsáváním prachových částic.
- reprofilace nerovností sanačním materiálem EP maltou, který splňuje požadavek na odtrhovou pevnost min 1,5 N/mm². Nerovnosti do 8 mm se vyplňují přímo lepidlem na lamely.
- konečné odstranění prachových částic z podkladu pomocí průmyslového vysavače.

c) Příprava a nanesení lepidla

Rozvážení dvousložkového lepidla na lamely se provádí na přesných digitálních vahách s ohledem na zpracovávané množství. Doba zpracování lepidla je značně závislá na okolní teplotě a pohybuje se okolo 30ti minut. Vlastní promíchání lepidla se provádí míchadlem při pomalých otáčkách. Lepidlo se poté nanáší nejen na zpevňovaný prvek, ale pomocí přípravku i na vlastní lamelu. Přípravek umožňuje nanesení lepidla na lamelu tak, že vrstva lepidla uprostřed lamely je o cca 1,5 mm vyšší než na okrajích.

d) Nalepení lamely

Nalepení lamely se provede prostým přitisknutím na lepené místo a dotlačením tvrdým gumovým válečkem od středu lamely k okrajům tak, aby byl spolehlivě odstraněn vzduch ze styku. Vytlačený tmel se potom odstraní špachtlí. Tímto způsobem vznikne pod lamelou vrstva lepidla silná cca 1 až 2 mm, tloušťka celého systému se poté předpokládá cca. 3 mm.

e) Dokončovací práce

Po skončení lepení a zatvrdnutí lepidla se provede vizuální kontrola nalepené lamely a odtrhové zkoušky předem připravených vzorků. Následně může být povrch stavebního dílce srovnán sanační maltou, prostým omítnutím, nebo opatřen požadovanou požární ochranou.

Podmínky používání jednotlivých materiálů a způsob aplikace je uveden v technických listech,

kteřé musí být nedílnou součástí těchto technologicko-prováděcích předpisů.

Při aplikaci uhlíkových lamel byly použity níže uvedené mechanismy:

- plošná diamantová bruska Bosch GBR 14C s odsáváním
- elektrická míchačka materiálu
- přípravky pro nanesení lepidla na lamely
- vzduchový kompresor
- průmyslový vysavač Hilti
- elektrické ruční kladivo
- vozidlo pro přepravu materiálů

3. Kontrolní a zkušební plán procesu

3.1. Kontrola vstupů

Po samotné aplikace uhlíkových lamel je nutné provést jednotlivé typy zkoušek a výstupy z těchto zkoušek musí zhotovitel předat objednavateli.

Pro jednotlivé vstupní materiály je zhotovitelem vždy předkládáno osvědčení o jakosti použitých materiálů, resp. je doložena způsobilost výrobce podle ISO 9001.

Zásadně je předkládáno tzv. "Prohlášení o shodě" podle § 13 zákona č.22/1997 Sb.[10] a § 11 nařízení vlády č.178/1997 Sb.[11]

Kontrolní zkoušky při provádění zahrnují níže uvedené jednotlivé kroky a řídí se následujícími normami:

- ČSN 10550 Zatížení konstrukcí a namáhání stavebních látek [22]
- ČSN 731101 Navrhování zděných konstrukcí (1981), nahrazena ČSN EN 1996-1-1 [23]
- ČSN 1998-3 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 3: Hodnocení a zesilování pozemních staveb [16]
- Stavební zákon č.183/2006 Sb. [24]
- Prohlášení o shodě podle § 13 zákona č.22/1997 Sb. [10] a § 11 nařízení vlády č.178/1997 Sb. [11]
- NV 591/2006 Sb., [12]
- 362/2005 Sb. - lešení [13]
- 356/2003 Sb. – nakládání s nebezpečnými a chemickými látkami [14]
- technologický předpis výrobce uhlíkových lamel BASF

3.2. Kontrola činností

1) Kontrola podkladu:



Obr. č. 15 - Zkouška kontroly podkladu [26]

Spočívá ve vizuální kontrole podkladu z hlediska bezprašnosti. Rovinatost se kontroluje měrnou latí délky 2 m, kdy povolená odchylka je 5 mm. Naměřená odtrhová pevnost podkladu musí být vyšší než $1,5 \text{ N/mm}^2$. Dále se kontroluje teplota vzduchu, teplota podkladu a relativní vlhkost vzduchu.

2) Kontrola lepidla:

Zaznamenává se číslo šarže a expirační doba použitého lepidla. Dle požadavku odběratele se odebírá vzorek použitého lepidla pro pozdější ověření pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu.

3) Přezkoušení nalepeného spoje:

Měří se odtrhovým přístrojem soudružnost s podkladem pomocí zkušebních odtrhů předem nalepených vzorků lamely. Provádí se kontrola dutých míst a vizuální přezkoušení lepených lamel. Vizuální kontrola se nezaznamenává, o odtrhových zkouškách je zápis ve stavebním deníku a následně je vystaven zkušební protokol, který předá zhotovitel objednateli.

Rizika jednotlivých činností spočívají ve špatné kontrole podkladu a tím spojené aplikace na nevhodný typ podkladu. Tomuto riziku se dá zabránit důkladnou kontrolou před samotným prováděním aplikace uhlíkových lamel a o této kontrole vyhotovit protokol, který předá zhotovitel objednateli.

Dalším z rizik je použití špatného typu lepidla, příp. lepidla s prošlým datem spotřeby. Abychom tomuto riziku předešly, je nutné zkontrolovat všechna lepidla, která jsou dovezena na staveniště. O přejímce je vyhotoven protokol, který předá opět zhotovitel objednateli.

Jedním z posledních rizik je špatné provedení nalepení uhlíkové lamely a možnosti vzniku nesoudržné vrstvy. Lze tomu předejít pečlivým pracovním postupem jednotlivých pracovníků, který je zkontrolován vedoucím stavby.

3.3. Kontrola výstupů

Při správném provedení technologického postupu aplikace uhlíkových lamel a dodržování výše uvedených norem a zákonů budou výrobky splňovat požadavky na stavby a výrobky dle zákona č.183/2006 Sb. § 156 [24].

4. Kontrola plánů jakostí dle regulativů

Aplikace uhlíkových CFK lamel je ovlivněná především normami, které jsou uvedeny v předchozích kapitolách, stavebním zákonem č. 183/2006 Sb.[24], NV 591/2006 Sb.[12], 362/2005 Sb.[13] - lešení, 356/2003 Sb.[14] – nakládání s nebezpečnými a chemickými látkami. Ze strany objednatele jsou především kladeny požadavky nejen na jakost a rychlost výstavby, ale také na estetický vzhled konstrukce po aplikaci uhlíkových lamel. U mnoha konstrukcí, zejména pak historických, je nutné dbát také na názor a požadavky památkářů. Výše uvedené požadavky objednatele se řídí platnými normami a časovým harmonogramem stavby. Přejímka materiálů bude vždy prováděna pouze povolanou osobou (stavbyvedoucí, mistr čety) a o veškerých událostech budou prováděny zápisy do stavebního deníku. Pracoviště pro provádění uhlíkových lamel bude přebírat taktéž pouze osoba k tomu zodpovědná za účasti TDI a o předání a převzetí pracoviště bude sepsán záznam do stavebního deníku, který bude následně oběma stranami podepsán a odsouhlasen.

V průběhu výroby uhlíkových lamel a aplikace uhlíkových lamel na konstrukci budou probíhat kontroly, jejich výsledky budou zaznamenány do protokolu, k tomu určeném. Budou probíhat za přítomnosti vedoucího kontrolního pracovníka. Kontroly budou probíhat buď to namátkově, nebo dle předchozí domluvy. Dodržení norem a regulativů je zajištěno také ze strany dodavatelů materiálů uhlíkových lamel (např. BASF). Výrobci dokládají tuto kvalitu a jakost výrobků potřebnými certifikáty a ověřeními. Veškeré provedené zkoušky a kontroly uhlíkových lamel budou obsahovat všechny důležité náležitosti, jakými jsou:

- technické listy
- dodací listy
- dodržování požadovaných norem a předpisů.

5. Zhodnocení procesu a návrh vhodných opatření

Reálné možnosti vylepšení pracovního postupu a celkově lepší vlastnosti konstrukce lze dosáhnout tím, že zaměstnáváme zkušené pracovníky, kdy se zkrátí čas potřebný pro realizaci a zvýší se kvalita provedené práce. Další zlepšování procesu lze docílit použitím modernějších technologií společně s minimalizací ovlivnění kvality lidským faktorem (tím vyloučit chyby vyvolané lidským faktorem při samotné výrobě uhlíkové lamely) a docílit tak ještě kvalitnějšího výrobku.

Matice zodpovědnosti

	Převzetí pracoviště	Předání a převzetí díla	Stavební připravenost	BOZP	Aplikace uhlíkových lamel	Kontrola
Stavbyvedoucí	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TDI		✓				✓
Mistr	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Dělníci					✓	

Tabulka č. 3 - Matice zodpovědnosti jednotlivých pracovníků

✓ povinnost pracovníka splnit danou činnost

6. Závěr – osnova příručky jakosti uživatele procesu

Účelem zpracování plánu jakosti stavební technologie bylo stanovit a popsat obecná pravidla při výrobě uhlíkových lamel a zesílení požadované konstrukce. Výstupem celého procesu je uhlíková lamela a zesílená konstrukce, které musí splňovat všechny požadavky zákazníka a všechny kritéria výrobce.

Celý proces aplikace uhlíkové lamely je dle mého názoru v současnosti velmi využitelný pro potřeby ve stavebnictví, vzhledem k výborným pevnostním charakteristikám uhlíkových lamel, jejich hmotnosti vzhledem k únosnosti a také vzhledem k minimálním zásahům do konstrukce. Při správné aplikaci a dodržení technologického postupu, vč. všech platných norem dojde u zesílené konstrukce nejen k prodloužení životnosti.

Příloha č. 3 - technický list MBrace® S & P CFK lamely



The Chemical Company

MBrace® S & P CFK lamely

(S & P CFK 150/2000 a S & P CFK 200/2000)

Uhlíkové lamely – základní součást systému zesílení konstrukcí
externě lepenou uhlíkovou výztuží MBrace®

Popis produktu

Uhlíkové lamely S & P CFK jsou vyrobeny z hybridních uhlíkových vláken na kontinuální výrobní stolici, kde jsou vlákna jednosměrně sycena speciální epoxidovou matricí za definovaného tahu a vývinu tepla. Hybridní vlákno sestává z mnoha vláken o různém modulu pružnosti. Směr vláken je striktně jednosměrný, vlákna jsou částečně předpjatá.

Vlastnosti uhlíkové lamely a její materiálové charakteristiky v nalepeném stavu jsou navrženy tak, aby splňovaly náročná kritéria a požadavky dané systémem MBrace®, systémem pro zesilování konstrukcí externě lepenou uhlíkovou výztuží.

Oblasti použití

- dodatečné zesílení ohybem a tahem namáhaných konstrukcí
- zvýšení zatížení na konstrukci
- změna zatěžovacích stavů
- vhodné pro lepení v oblasti podporových i mezipodporových momentů
- zesilování železobetonových, ocelových, litinových a dřevěných konstrukcí
- vhodné i pro osazování do předem vyfrézovaných drážek

Výhody

- jednoduchá aplikace
- umožní zvýšit únosnost až dvojnásobně
- podstatně nižší hmotnost než adekvátní ocelový ekvivalent
- snížení časů nutných pro rekonstrukci, nižší náklady na lešení
- aplikace za minimálního přerušení provozu
- aplikace i za nízkých teplot
- chemická odolnost, nekorodující materiál
- jednoduchá doprava, snadná manipulace

Balení

Dodávka v návinech (rolích) po 150 m.

Skladování

V suchu lze skladovat po neomezenou dobu. Chránit před slunečním svitem.

Bezpečnostní opatření

Není klasifikován jako produkt vyžadující zvláštní zacházení, při manipulaci se doporučuje používat ochranné rukavice.

Základní předpoklady realizace

1) Příprava podkladu

Povrch betonu musí být dobře očištěn, být prost jakéhokoliv prachu, oleje či mastnoty. Zdegradovaná vrstva betonu nebo cementový kal musí být mechanicky odstraněn vhodnou metodou. Hladký povrch betonu je žádoucí zdrsňit frézováním nebo pískováním. Požadavek na odtrhovou pevnost podkladu je 1,5 N/mm².

2) Nerovnost, vysprávký podkladu

Maximální přípustná nerovnost podkladu nesmí být větší než 5 mm pod 2 m latí. V případě větších hodnot se lokálně vysprávký směsí epoxidového lepidla MBrace® Epoxikleber 220 s 30 % (váhově) křemičitého písku nejméně jeden den před aplikací. Při větším rozsahu sanací se použije vyrovnávací malta na cementové bázi Emaco S 88C. Vlhkost podkladu před lepením musí být pod hodnotou 4%.

3) Teplota při provádění

Před zahájením prací se stanoví teplota podkladu, relativní vlhkost a teplota okolí. Jestliže je teplota podkladu nižší než 3°C, je nutné jej ohřát. Během lepení by teplota neměla klesnout pod 8°C a vystoupit nad 35°C. Při nižších teplotách je nutné použít speciální lepidlo pro nízké teploty (lze aplikovat až do -10°C).

4) Lepení

Lepení se provádí pomocí epoxidového lepidla MBrace® Epoxikleber 220, které se nanáší na lamelu v tloušťce 2 mm. Tuto vrstvu lepidla zabezpečuje protažení lamely korýtkem se zarážkou. Min. tloušťka naneseného lepidla je 1 mm, max. 3 mm.

Technická data S&P Lamely CFK

Typ: S&P Lamela CFK 150 / 2000

Typ: S&P Lamela CFK 200 / 2000

Aplikace lepením na povrch:

Typ lamely	průřez [mm ²]	Tahová pevnost při protažení 0.6 %	Tahová pevnost při protažení 0.8 %
150/2000 Tahová pevnost: > 2800 N/mm ² Modul pružnosti: 168'000 N/mm ²		Teoretická tahová pevnost pro návrh: 1000 N/mm²	Teoretická tahová pevnost pro návrh: 1300 N/mm²
50 / 1.2	60	60.0 kN	78.0 kN
50 / 1.4	70	70.0 kN	91.0 kN
60 / 1.4	84	84.0 kN	109.2 kN
80 / 1.2	96	96.0 kN	124.8 kN
80 / 1.4	112	112.0 kN	145.6 kN
90 / 1.4	126	126.0 kN	163.8 kN
100 / 1.2	120	120.0 kN	156.0 kN
100 / 1.4	140	140.0 kN	182.0 kN
120 / 1.2	144	144.0 kN	187.2 kN
120 / 1.4	168	168.0 kN	218.4 kN
200/2000 Tahová pevnost: > 2500 N/mm ² Modul pružnosti: 210'000 N/mm ²		Teoretická tahová pevnost pro návrh: 1250 N/mm²	Teoretická tahová pevnost pro návrh: 1650 N/mm²
50 / 1.4	70	87.5 kN	115.5 kN
60 / 1.4	84	105.0 kN	138.6 kN
80 / 1.4	112	151.0 kN	184.8 kN
90 / 1.4	126	170.1 kN	207.9 kN
100 / 1.4	140	189.0 kN	231.0 kN
120 / 1.4	168	226.8 kN	277.2 kN

Aplikace lepením do drážky:

Typ lamely	průřez	Doporučená tahová pevnost pro návrh:
150/2000 Modul pružnosti: 168 kN/mm ²	[mm²]	Doporučená tahová pevnost pro návrh: 1850 N/mm²
10 / 1.4	14	25.9 kN
20 / 1.4 *	28	51.8 kN
200/2000 Modul pružnosti: 210 kN/mm ²	[mm²]	Doporučená tahová pevnost pro návrh: 2200 N/mm²
10 / 1.4 *	14	30.8 kN
20 / 1.4 *	28	61.6 kN

*) Objednávka je akceptována pouze při větším množství!

V případě potřeby statických výpočtů a konzultací kontaktujte produktového manažera pro systém MBrace:
tel. 724 755 580, e-mail: mbrace@basf-sh.cz.

BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. K Májovu 1244 tel.: +420-469 607 111 fax: +420-469 607 112 e-mail: info.cz@basf.com www.basf-sh.cz	Střední Čechy (Praha) 724 029 869 602 136 612	Jižní Čechy 724 919 961	Jižní Morava 602 583 789 724 532 472
	Severní Čechy 724 338 048 724525 336	Východní Čechy 724 358 390	Střední Morava 724 557 767
Zákaznický servis (příjem objednávek) tel.: +420-469 607 160 fax: +420-469 607 161 e-mail: objednavky.cz@basf.com	Západní Čechy 602 583 793	Severní Morava 724 557 767 602 529 935 723 415 324	

Pracovní podmínky a rozsah použití produktů jsou velmi rozdílné. V našich výrobních listech jsou uvedeny pouze všeobecné pokyny ke zpracování, odpovídající současným znalostem. Zpracovatel je povinen posoudit vhodnost a možnost použití produktu na zamýšlený účel. U zvláštních požadavků je třeba si vyžádat naši poradu. Porada a doporučení jsou prováděny v rámci předem uzavřených smluvních vztahů povinností. Platí naše prodejní a dodací podmínky. Aktuální informace o produktech firmy jsou dostupné na Internetové adrese www.basf-sh.cz
Vydání: leden 2008

Novým vydáním ztrácí stará platnost.

Příloha č. 4 - ukázky z realizací



Obr. č. 16 - Sanace balkonů [25]



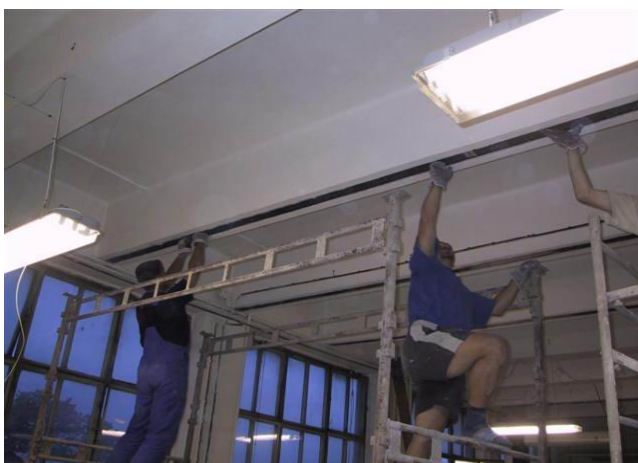
Obr. č. 17 - Příprava uhlíkových lamel [26]



Obr. č. 18 - Aplikace uhlíkových lamel [27]



Obr. č. 19 - Detail aplikace uhlikových lamel 28]



Obr. č. 20 - Aplikace uhlikových lamel na stropní konstrukci 29]



Obr. č. 21 - Příprava drážek pro aplikaci uhlikové lamely [30]



Obr. č. 22 - Aplikace uhlíkové tkaniny - S.Francis Church in Modena [31]



Obr. č. 23 - Aplikace uhlíkové tkaniny - San Marco Church, Itálie [32]



Obr. č. 24 - Aplikace uhlíkové tkaniny - San Vittore Martire Church, Itálie [33]



Obr. č. 25 - Aplikace uhlíkové tkaniny - San Vittore Martire Church, Itálie [34]



Obr. č. 26 - Aplikace uhlíkové tkaniny - San Bernardino Basilica, Itálie [35]

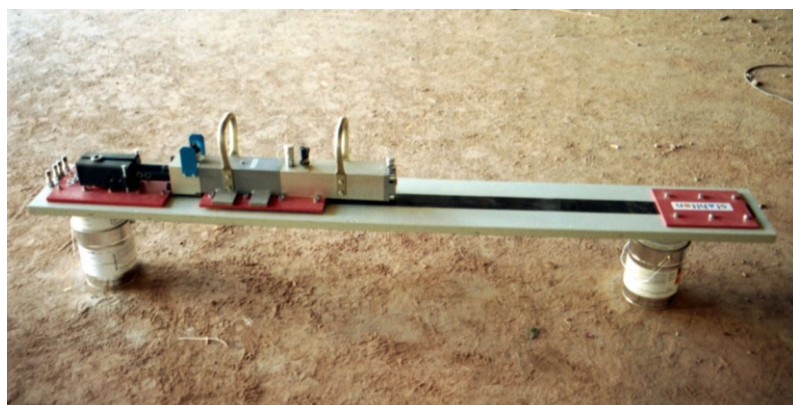


Obr. č. 27 - Aplikace uhlíkových lamel - Immacolata Concezione di Ivrea School, Itálie [36]

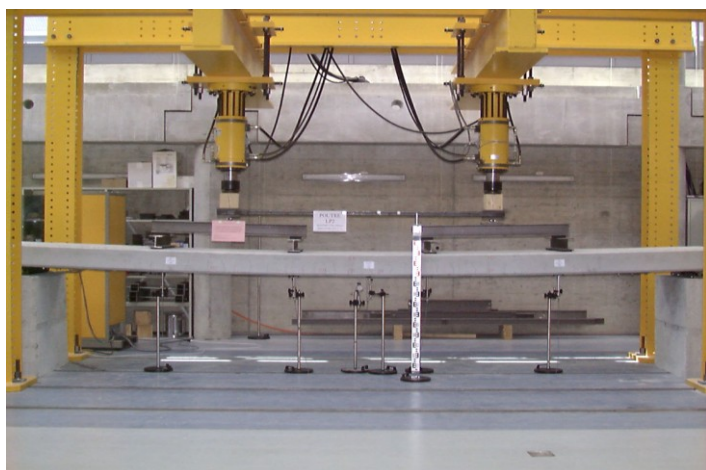
Příloha č. 5 - ukázky zkoušek kompozitních materiálů



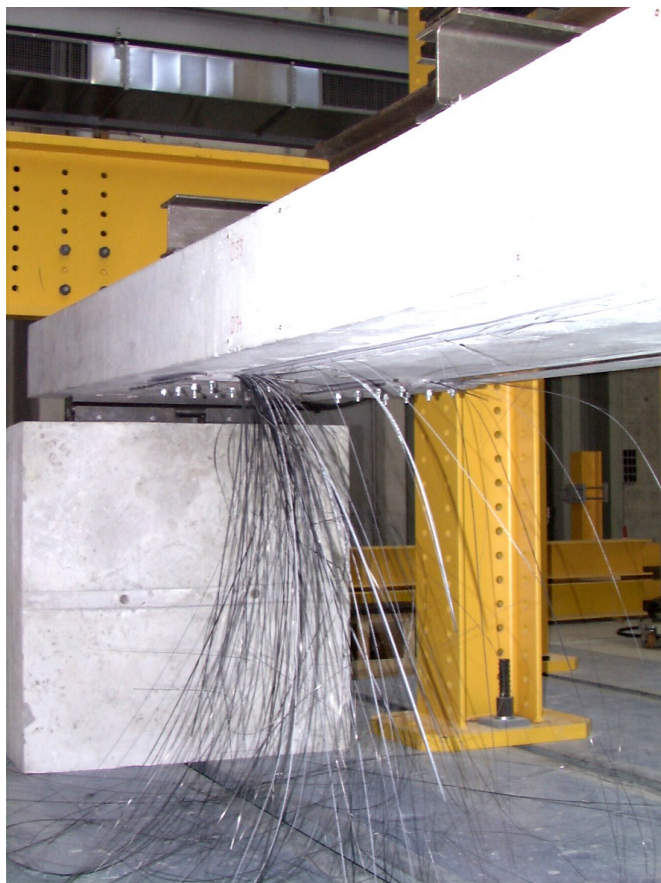
Obr. č. 28 - Zkouška vlhkosti podkladu [37]



Obr. č. 29 - Systém pro předpinání uhlíkových lamel [38]



Obr. č. 30 - Zatěžovací zkouška uhlíkových lamel [39]



Obr. č. 31 - Přetržená předpjatá lamela [40]

Literatura

- [1] Solař, J.: *Zajištění zděných staveb proti vlivům technické seizmicity*.
<http://www.imaterialy.cz/Zdene-konstrukce/Zajisteni-zdenych-staveb-proti-vlivum-technicke-seizmicity.html>.
- [2] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [3] Šilhán, O.: *Zesilování stavebních konstrukcí dodatečně lepenou kompozitní výztuží*
http://www.casopisstavebnictvi.cz/zsilovani-stavebnich-konstrukci-dodatecne-lepenou-kompozitni-vyztuzi_A1126_I21. Časopis Stavebnictví, 2008.
- [4] Mapei s.r.o., (archiv)
- [5] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [6] Minova Bohemia s.r.o., (archiv)
- [7] BASF s.r.o., (archiv)
- [8] BASF s.r.o., (archiv)
- [9] BASF s.r.o., (archiv)
- [10] Zákon č. 22/1997 Sb. - o technických požadavcích na výrobky a související předpisy
- [11] Nařízení vlády č. 178/1997 Sb. - technické požadavky na stavební výrobky, ve znění nařízení vlády č. 81/1999 Sb.
- [12] Nařízení vlády č. 591/2006 Sb. - o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích
- [13] Nařízení vlády č. 362/2005 Sb. - o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky
- [14] Nařízení vlády č. 356/2003 Sb. - o chemických látkách a chemických přípravcích
- [15] ČSN 73 0862: *Požárně technické vlastnosti hmot. Stanovení šíření plamene po povrchu stavebních hmot*. ČNI Praha, 2007.
- [16] ČSN EN 1998-3 - *Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení - Část 3: Hodnocení a zesilování pozemních staveb*. ČNI Praha, 2007.
- [17] Statická kancelář V&V, (archiv)
- [18] Statická kancelář V&V, (archiv)
- [19] Statická kancelář V&V, (archiv)
- [20] Statická kancelář V&V, (archiv)
- [21] Statická kancelář V&V, (archiv)
- [22] ČSN 10550: *Zatížení konstrukcí namáhání stavebních látek*. ČNI Praha, 2007

- [23] ČSN 731101: *Navrhování zděných konstrukcí (1981), nahrazena ČSN EN 1996-1-1*, ČNI Praha 2007
- [24] Zákon č. 183/2006 Sb. - o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)
- [25] BASF s.r.o., (archiv)
- [26] BASF s.r.o., (archiv)
- [27] BASF s.r.o., (archiv)
- [28] BASF s.r.o., (archiv)
- [29] BASF s.r.o., (archiv)
- [30] BASF s.r.o., (archiv)
- [31] BASF s.r.o., (archiv)
- [32] BASF s.r.o., (archiv)
- [33] BASF s.r.o., (archiv)
- [34] BASF s.r.o., (archiv)
- [35] BASF s.r.o., (archiv)
- [36] BASF s.r.o., (archiv)
- [37] BASF s.r.o., (archiv)
- [38] BASF s.r.o., (archiv)
- [39] BASF s.r.o., (archiv)
- [40] BASF s.r.o., (archiv)

Další literatura a informační zdroje použité v diplomové práci

- Witzany, J., Čejka, T., Wasserbauer, R., Ziegler, R.: *PDR - Poruchy, degradace a rekonstrukce*. ČVUT, Praha, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
- Bažant, Z., Klusáček, L.: *Statika při rekonstrukcích objektů*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, 2002. ISBN 80-2142058-8.
- Pume, D., Čermák, F.: *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. ABF Praha, 1993.
- Vaněk, T.: *Rekonstrukce staveb*. SNTL Praha, 1985.
- Witzany, J., a kol.: *Konstrukce pozemních staveb 60: Poruchy a rekonstrukce staveb - 2.díl*. ČVUT, Praha, 1995. ISBN 80-01-01310-3.
- Makýš, O.: *Technologie renovace budov*. Jaga group, s. r. o. Bratislava, 2004. ISBN 80-8076-006-3.
- Solař, J.: *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Grada Publusing, a. s. Praha, 2008. ISBN 978-80-247-2672-4.
- Witzany, J.: *Poruchy a rekonstrukce zděných budov*. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, 1999. ISBN 80-902697-5-3.
- Škabrada, J.: *Konstrukce historických staveb*. Argo Praha, 2003. ISBN 80-7203-548-7.
- Košatka, P.: *Příklady navrhování zděných konstrukcí*. ČVUT v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04210-6.
- ČSN P ENV 1996-1-2: *Navrhování zděných konstrukcí-Část 1-2: Obecná pravidla. Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, ČNI Praha, 2007
- ČSN EN 1996-2: *Navrhování zděných konstrukcí-Část 2: Volba materiálů, konstruování a provádění zděných konstrukcí*. ČNI Praha, 2007.
- ČSN EN 1996-3: *Navrhování zděných konstrukcí-Část 3: Zjednodušené metody a jednoduchá pravidla pro zděné konstrukce*, ČNI Praha, srpen 2007.
- Bodnárová, L.: *Kompozitní materiály ve stavebnictví*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2002. ISBN 80-214-2266-1.
- Šedlbauer, P.: *Technický prováděcí předpis 02 / 2012 - zesílení konstrukcí CFK výztuží*. Santech s.r.o. Frenštát pod Radhoštěm, 2012.
- Pustějovský, M.: *Technický prováděcí předpis 02 / 2011 - požární ochrana CFK lamel*. Santech s.r.o. Frenštát pod Radhoštěm, 2011.